OFPPT

ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail

DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

VERSION EXPERIMENTALE

RESUME THEORIQUE
&
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES

MODULE 10	CONNAISSANCE DES DIFFERENTS OUVRAGES EN TRAVAUX PUBLICS

SECTEUR : BTP

SPECIALITE : CHEF DE CHANTIER TRAVAUX PUBLICS

NIVEAU : TECHNICIEN

REMERCIEMENTS

La DRIF remercie les personnes qui ont contribué à l'élaboration du présent document.

Pour la supervision :

M. Khalid BAROUTI	Chef projet BTP
Mme Najat IGGOUT	Directeur du CDC BTP
M. Abdelaziz EL ADAOUI	Chef de Pôle CDC /BTP

Pour la conception :

M. JIGOREANU DORU	Formateur animateur au CDC BTP

Pour la révision linguistique :

M. BENMOUHA Boualem	Cadre à la DRIF

Les utilisateurs de ce document sont invités à communiquer à la DRIF toutes les remarques et suggestions afin de les prendre en considération pour l'enrichissement et l'amélioration de ce programme.

DRIF

SOMMAIRE :	PAGE :

Durée : 70

OBJECTIF OPERATIONNEL

- **COMPORTEMENT ATTENDU**

  Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit **connaître les différents ouvrages en TP** selon les conditions, en conformité avec les notions et les principes suivantes :

- **CONDITIONS D'EVALUATION**

  A partir :
  - Des connaissances accumulées,
  - De son travail individuel,
  - Des questions de cours,

  A l'aide :
  - Des tableaux et des schémas figurés,
  - Des dessins et images de chaque type d'ouvrage,
  - D'une documentation pertinente :lois, règlements, etc.

- **CRITERES GENERAUX DE PERFORMANCE**
  - Bonne connaissances des différents types des structures,
  - Bonne connaissances des différents types des routes et autoroutes,
  - Bonne connaissances des différents types d'ouvrages d'arts : ponts, tunnels, barrages, etc.

OBJECTIF OPERATIONNEL

• PRECISIONS SUR LE COMPORTEMENT ATTENDU	• CRITERES PARTICULIERS DE PERFORMANCE
A. Connaître les procédés généraux de construction d'un bâtiment.	➢ Choix correct des fondations, ➢ Connaissance d'implantation d'un bâtiment, ➢ Définition d'un construction civile et industrielle, ➢ Identifier le type de structure pour chaque bâtiment, ➢ Identifier les éléments porteurs et non porteurs d'un bâtiment, ➢ Bonne connaissance du rôle de chaque partie d'un bâtiment,
B. Connaître la conception des routes et des autoroutes.	➢ Définition exacte : - d'une route, - d'une autoroute, ➢ Identifier correctement les assises, ➢ Connaître la nature des assises, ➢ Connaître le rôle des assises, ➢ Bonne connaissance : - d'un corps de chaussée, - des couches de surfaces, - de la zone piétonne,
C. Connaître la structure et les divers types des ouvrages d'arts.	➢ Identifier correctement les ouvrages d'arts : - un mûr de soutènement, - un pont, - un tunnel, - un barrage, ➢ Bonne connaissance du rôle de chaque ouvrage d'art, ➢ Définition des phases de réalisation pour chaque type des ouvrages d'arts, ➢ Choix correct de la structure adéquate pour chaque type des ouvrages d'arts.

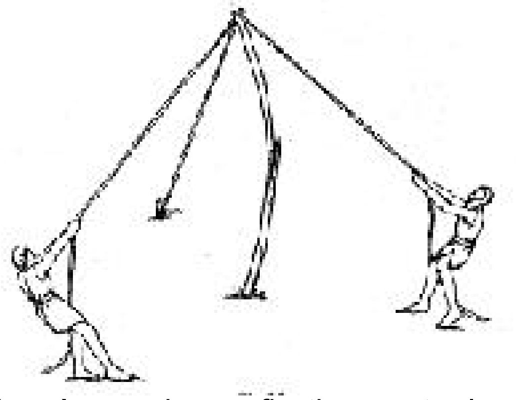
I. RESUME THEORIQUE

I. 1. CONNAISSANCE DE BATIMENTS

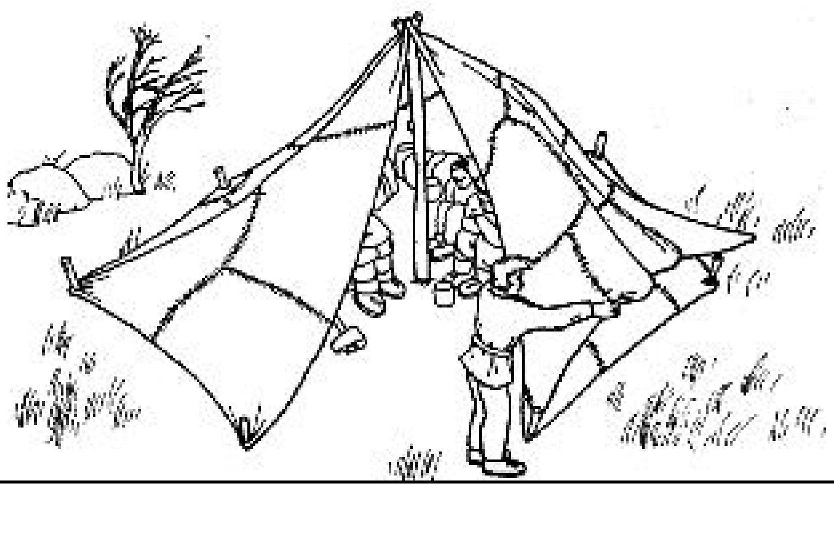
I.1.A. L'évolution de la construction de bâtiments en temps

Un manuel de construction, ne peut être que la représentation d'un moment de l'art de construire. Les techniques évoluent, les exigences changent et alors il faut faire un effort permanent d'adaptation à des situations nouvelles.
C'est pour cette raison que le constructeur n'est pas placé dans la situation de la feuille blanche ; il travaille dans le cadre d'un savoir constructif constitué déjà. Ce savoir apporte un ensemble de solutions dont il donne la description et l'explication ; l'édifice construit en apporte la vérification. C'est un savoir cumulatif, le constructeur s'appuie sur la connaissance des réussites et des exploits ; il analyse les échecs, il réfléchit sur les causes possibles de pathologie.

Depuis 30 mille années au derrière, les hommes fallait passer d'une place à une autre pour chercher la nourriture. Alors, pour pouvoir se défendre des pluies et de froid, ils ont commencé à construire leurs premiers abris.
Au début ils ont utilisé des échafaudages en piquets et ficelles comme dans la figure suivante :



qui après une bonne fixation contre les ventes, étaient couvertes avec des cuirs :

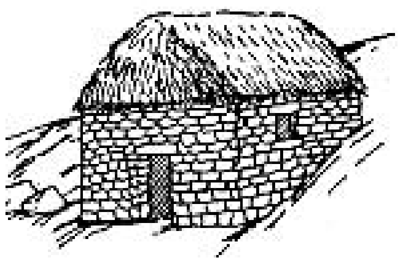


Vingt milles années plus tard, c'est à dire il y a dix milles ans les hommes ont commencé à cultiver la terre et comme ça ils ont remplacé leurs anciennes abris avec les premiers maisons.

Ces maisons dans les zones froids étaient fait en bois, comme dans la figure suivante :



où en pierre, comme dans la figure suivante:



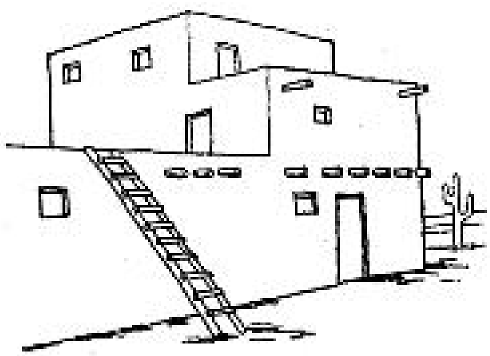
pour pouvoir assurer la protection, pendant que dans les zones chauds, les maisons étaient fait plus facile, comme dans la figure suivante:



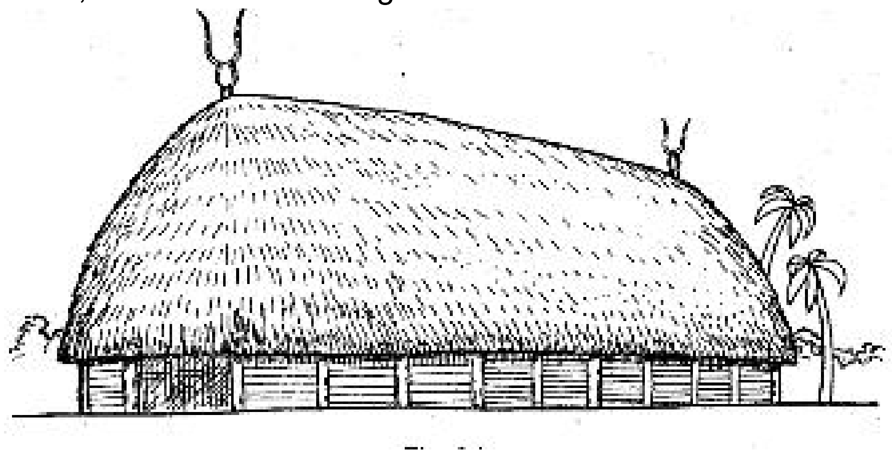
Au début , ces maisons étaient faits avec des matériaux naturels qui les hommes pouvaient les trouver dans l'environnement, ils ont

commencé aussi à utiliser des matériaux préparé par eux-même, comme par exemple

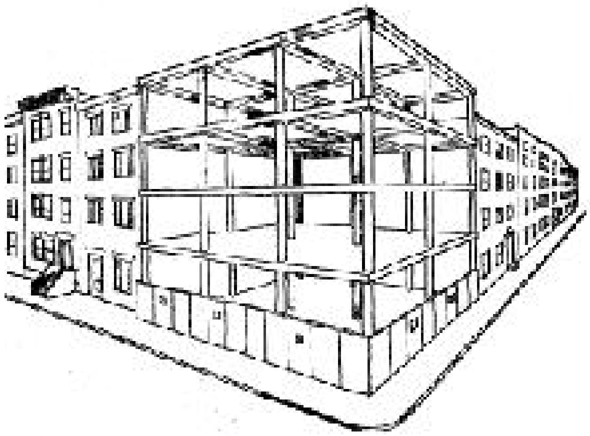
le mélange du terre glaise avec pailles et ont obtenu des maisons comme dans la figure suivante:



Mais les hommes ont commencé petit à petit à vivre l'un à côte de l'autre pour pouvoir s'aider et alors ils étaient obligés de construire des bâtiment plus large, où ils se rencontraient pour prendre des décisions ensemble, comme celle de la figure suivante:



A travers les temps, les structures de bâtiments ont évolué à la fois avec les matériaux utilisés et les technologies de mise en œuvre et c'est ainsi qu' aujourd'hui il est possible de construire de grands ensembles d'appartements, comme dans la figure suivante :



où même de vrais gratte-ciel, comme dans la figure suivante :

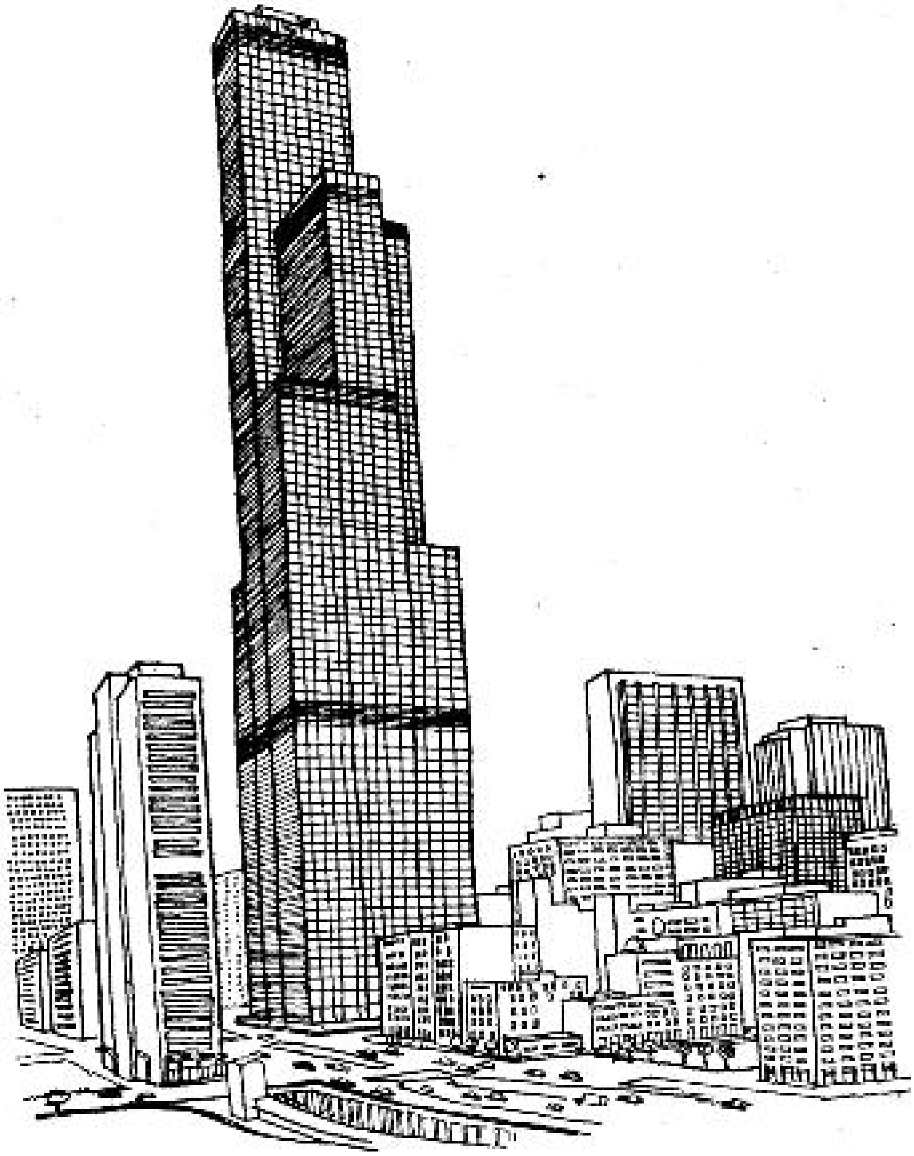


Fig. : Sears Tower – San Francisco – U.S.A.
Il a 110 niveaux et 443 m de hauteur

I.1.B. La classification des constructions

Les constructions peuvent être classifiés selon plusieurs critères d'évaluation :

a) leurs fonctions ou leurs destinations,
b) leur qualité,
c) leurs structures de résistance,
d) leurs degrés de protection contre le feu,

a) Classification selon la fonction d'une construction :

Les constructions peuvent être :

- Des bâtiments,
- Des constructions de l'ingénierie,

Les bâtiments peuvent être :

- **Bâtiments civils : -** maisons individuelles,
  - maisons collectives,
  - bâtiments publics et administratifs :
    - les marchés,
    - les mairies,
    - les salles des conférences, etc.
  - bâtiments culturels et sportifs :
    - les écoles,
    - les théâtres,
    - les stades, etc.
- **Bâtiments industriels : -** pour la production :
    - usines,
    - installations technologiques,
    - ateliers, etc.
  - auxiliaires :
    - réservoirs,
    - entrepôts,
    - remises, etc.
- **Bâtiments agricoles et zootechniques :** pour l'abri des animaux ou les plantes ; pour dépôts, etc.

Les constructions de l'ingénierie pouvaient être :

- **Voies de communications :** - chaussées,
  - routes,
  - autoroutes,
  - voie ferrée,
  - métropolitains,
  - tramways, etc.
- **Ouvrages d'arts : -** ponts,
- tunnels,
- barrages,
- mûrs de soutènement,
- tours de refroidissement,
- tours de télévision, etc.

b) Classification selon la qualité d'une construction :

Dans cette case la classification est déterminée par :

- la durabilité de la construction,
- le dégrées de résistance aux efforts,
- les demandés d'emploi,

Par apport du ces critères, une construction peut être :

- une réponse des demandes importantes,
- une réponse à la demande moyennes,
- une réponse à la demande normales,

c) Classification subi la structure de résistance d'une construction :

De cet point de vue, une construction peut être :

- Avec murs portants : - en bois,
  - en maçonnerie,
  - en béton armé,
  - en béton préfabriqué,
- Avec ossature (où cadre) : - en béton armé,
  - en béton préfabriqué,
  - en métal,
- Avec structure mixte – qui a le même temps et murs portants et cadre,
- Avec structure spéciale – dans le cas de construction unique,

I.1.C. Les parties composants d'un bâtiment

D'habitude un bâtiment est composé par :

a) infrastructure,
b) suprastructure,
c) installations,

a) infrastructure : est la partie de la construction qui est placée au-dessous du cote ± 0,00m. L'infrastructure a comme principal parte la fondation du bâtiment, mais elle peut aussi bien contenu le sous-sol ou le demi –sol. L'infrastructure doit assuré la liaison entre le bâtiment et terre pour faire la transmission des charges. De cet point de vue son rôle est très important, parce qu tout la stabilité d'un bâtiment dépende de cette actionne de transfert des charges vers la terre.

b) la superstructure : est la partie d'un bâtiment qui est placée en haut du cote ± 0,00 m, et se composants de :

- la structure de résistance, qui est composée par :
  - mûrs,
  - poteaux,
  - poutres,

  - planchers,

- la charpente,
- l'escalier,

- les ouvrages de finition et protection, comme :
  - enduits,
  - revêtements,
  - la menuiserie en bois et en aluminium,
  - la peinture,
  - la toiture,
  - isolations : thermiques, acoustiques, contre l'eau, contre le feu, etc.

b) **Les installations :** qui doivent assurer les utilités nécessaires pour un bâtiment. Dans cette catégorie on peut trouver :

- Installations sanitaires : - de l'eau froide,
  - de l'eau chaude,
  - d'assainissement,
- Installations électriques : - d'éclairage,
  - pour consommateurs électro-casniques,
  - de puissance – ascenseurs, grands consommateurs,
  - courants faibles : téléphonie, sonnerie, Interphone, etc.
  - protection : mise à la terre, paratonnerre, etc.
- Installations de climatisation : - chauffage central,
  - air conditionné, etc.

I.1.D. La répartition d'un bâtiment

Chaque bâtiment doit être partitionner en plan vertical et en plan horizontal , pour pouvoir bien définir les parties et les exigences des composants.

a) **en haut :** la partition d'un bâtiment est assurée par les planchers. L'espace entre deux planchers successifs s'appelle niveau. Pour chaque niveau s'utilise un terme pour l'identifier :

- sous- sol,
- rez-de-chaussée,
- demi-sol,
- mezzanine,
- 1ére étage,
- 2éme étage, etc.

b) **au même niveau :** la répartition d'un bâtiment est assurée par murs, en salles et chambres. Selon la destination du bâtiments, on peut trouver :

- pour une maison : - salon,
  - chambre à coucher,
  - cuisine,
  - salle de bain,
  - hall,

- vestibule, etc.

- Pour une école : - classe,
  - laboratoire,
  - amphithéâtre,
  - salle d'étude,
  - bureau,
- Pour un hôtel : - réception,
  - bars,
  - restaurants,
  - piscine,
  - chambres à louer,
- Pour un l'hôpital : - salle de consultation,
  - salle de traitement,
  - salle d'opérations,
  - chambre de garde,
  - salle d'accueil,
  - salle à manger, etc.

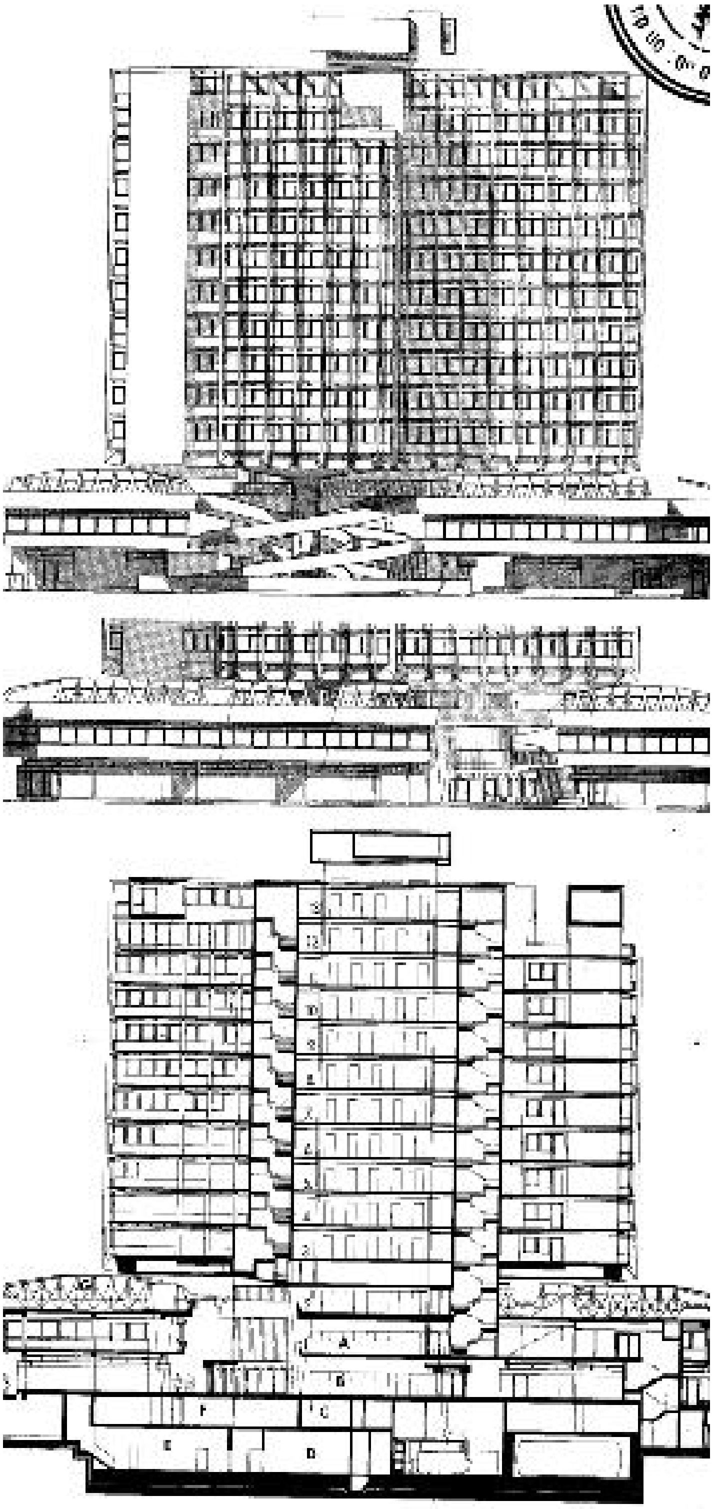
I.1.E. Bâtiments civils

Selon la structure de résistance, les bâtiments civils peuvent être :

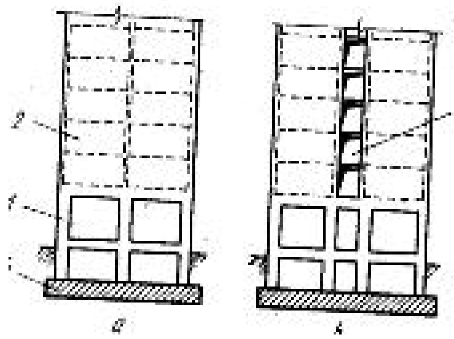
a) avec des murs portants, comme à la figure suivante :



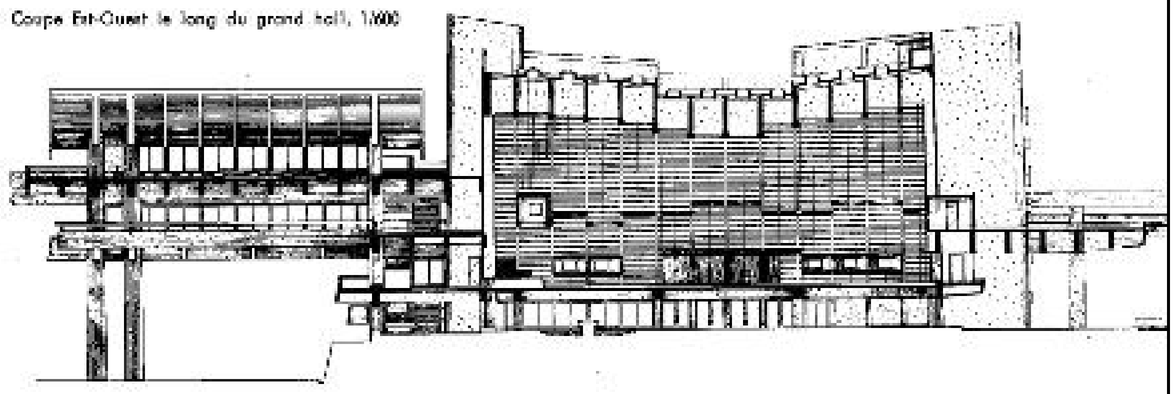
b) avec la structure en cadres, (figure suivante) :

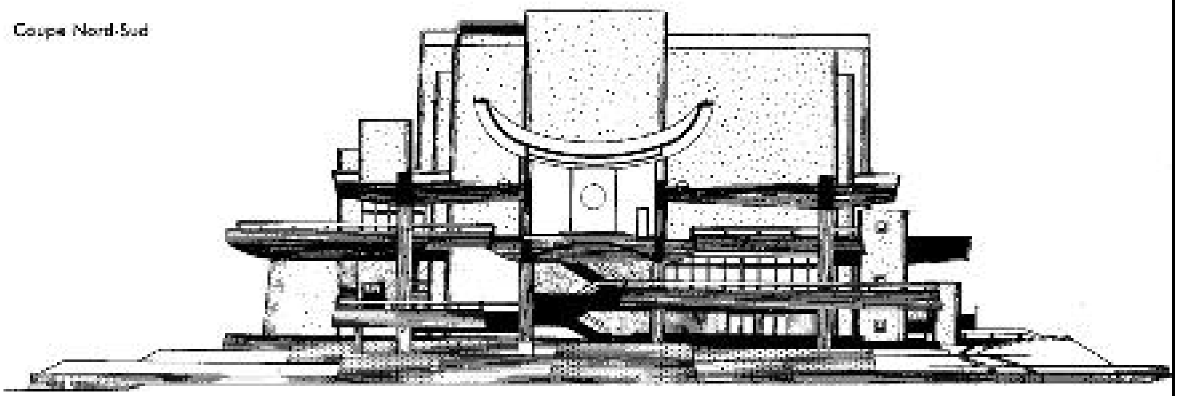


c) avec une structure mixte, comme en figure suivante :



d) avec structure combinée :





a) Structures de résistance avec murs portants

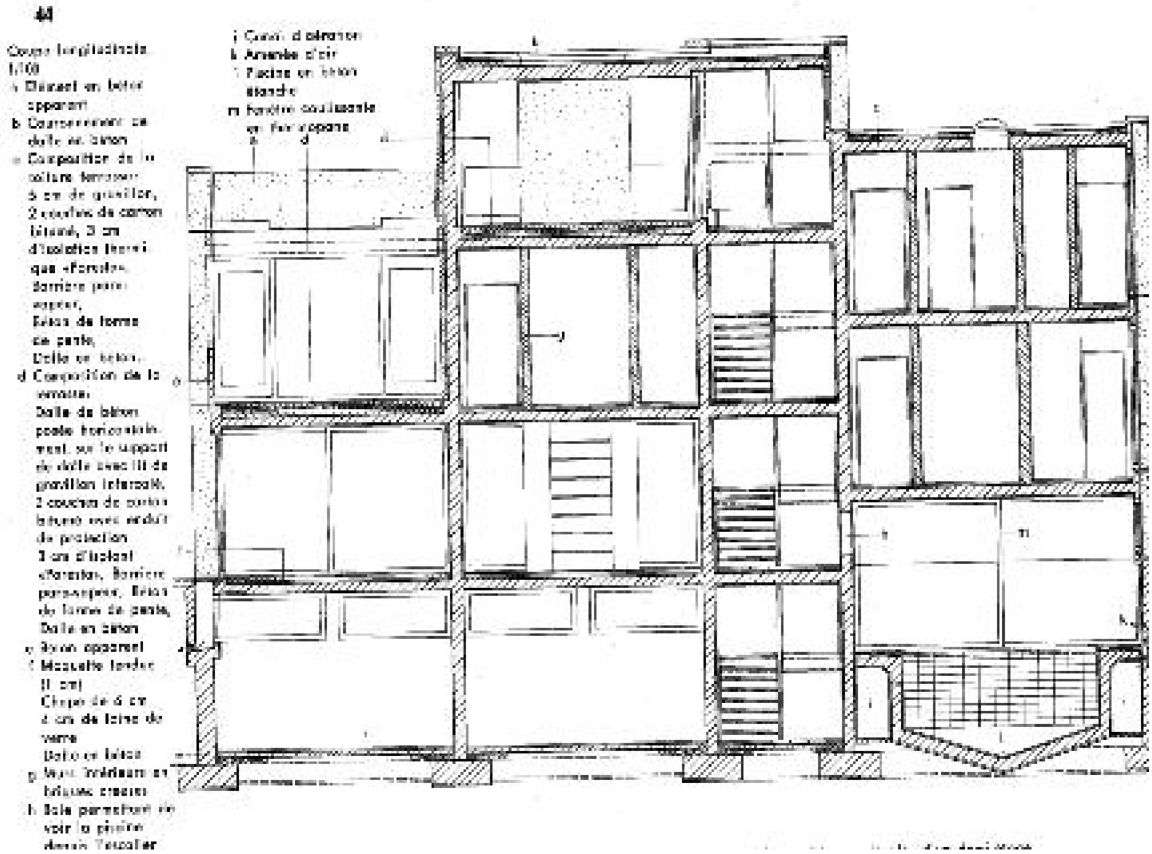
En constructions les murs portants sont dénommés aussi bien et diaphragmés et selon la nature des matériaux peuvent être :

1. en maçonnerie,

2. en béton armé monolithe,
3. en béton armé préfabriqué.

Selon la distance qui est entre les murs, une structure peut être :

- de type «rayon de miel » - alors quand cette distance est de 3.0-5.0m
  Dans ce cas les planchers sont réalisés en béton armé monolithe ou préfabriqué et les charges sont transférées directement sur les murs portants.
- de type «cellulaire » - alors quand la distance est de 8.00 – 11.00 m.
  Dans ce cas à l'intérieure d'une cellule on peut trouver des cadres intermédiaires (donc poteaux et poutres) qui ensemble avec les murs portants sont des étais pour les planchers, comme la figure suivante :



a.1. Structures avec murs portant en maçonnerie

Ce type de structure est utilisé dans les bâtiments d'habitation et socio – culturels, qui ont jusqu'au maximum 5 niveaux.

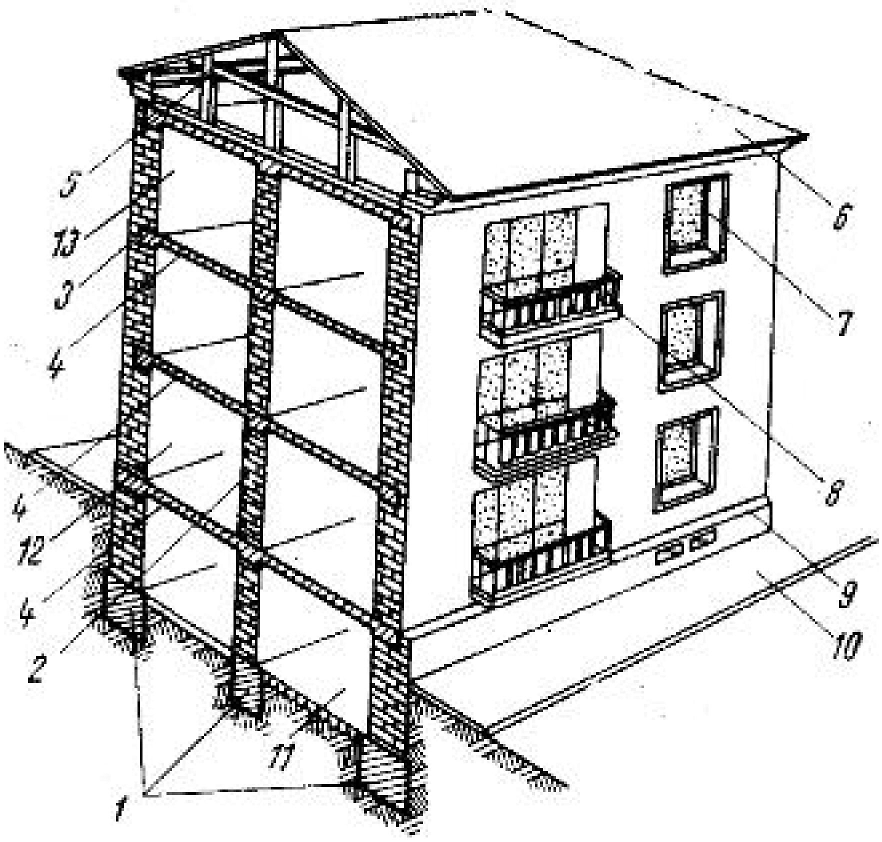
Comme matériaux pour maçonnerie on utilise :

- les briques en argile cuite, pleines ;
- les briques en argile cuite avec trous horizontaux ;
- les briques en argile cuite avec trous verticaux.

Si on veut utiliser ce type de structure, le bâtiment doit avoir une forme carré ou rectangulaire. Comme dimensions, ce type de bâtiments a entre 40.00 – et 60.00 m de longueur et 15.00 m de hauteur.

Recommandations :

- Pour les murs extérieurs :
  - la distance minimale entre le coin du bâtiment et le premier trou (pour une fenêtre ou porte) doit être de 1.00 – 1.50 m.
  - la distance minimale entre deux suivants doit être de 0.75 – 1.00 m.
  - la hauteur d'un niveau ne doit pas dépasser 2.75 m.
  - les trous prévus dans les murs doivent être disposées toujours l'un au dessus de l'autre.
- Pour les murs intérieurs :
  - on doit réaliser en même temps avec les murs extérieurs pour assurer une bonne rigidité de l'ensemble.
  - l'épaisseur de ces murs ne peut pas descendre sous 15 cm.
- Pour les planchers :
  - L' ouverture maximale ne doit pas dépasser 3.60 m
  - la charge des planchers ne doit pas dépasser 300 daN/m².



a.2. Structures des bâtiments en béton armé monolithe

Ce type de structure assure une très bonne conduite à la fois pour les charges verticales et pour celles horizontales (séisme, vents, etc.).

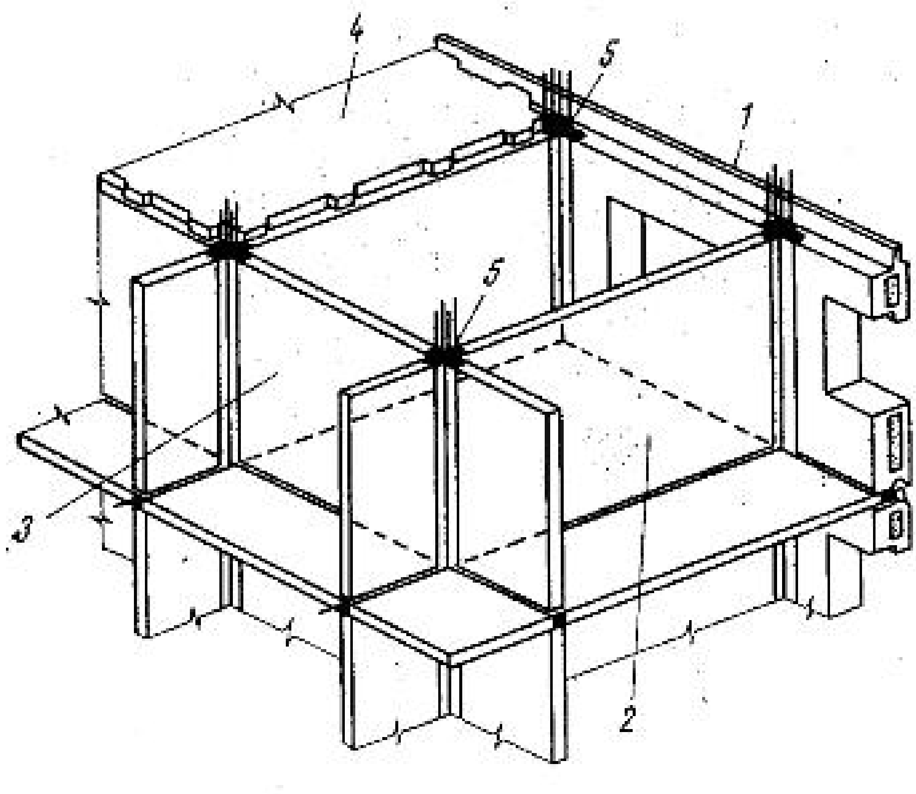
- Pour ce type de structure on doit respecter les règles suivantes :
  - l'emplacement des diaphragmes par rapport aux axes principaux de la structure, doit être symétrique.
  - On doit prévoir un minimum de deux diaphragmes sur chaque direction du bâtiment.
  - On doit assurer la continuité des diaphragmes sur toute la hauteur du bâtiment.
  - L'incastration du bâtiment dans la terre de fondation doit être faite sur un minimum de 10% de la hauteur du bâtiment.
  - D'habitude pour ces structures les armatures sont constituées par des carcasses en treillis soudé.
- Pour l'exécution des ces structures on peut utiliser :
  - ❖ Des coffrages en panneaux d'inventaire – cette méthode a les avantages suivants :
    - ➢ on peut assurer une grande gamme de tipo-dimensions,
    - ➢ on peut bien travailler sur temps froids,
    - ➢ on peut réutiliser un panneau pour 25 – 40 fois.
  - ❖ coffrages en panneaux métalliques planes :
    - ➢ on peut assurer un bon rythme de travail,
    - ➢ on peut éviter l'enduit intérieur,
    - ➢ haut degré d'utilisation de coffrage.
  - ❖ coffrages glissants :
    - ➢ A la base de construction on doit assurer un coffrage d'une très petite dimension : 1.00 – 1.30 m de hauteur,
    - ➢ Le chaîne d'exécution est continue et le délais deviennes court,
    - ➢ Le coffrage glissant assure toutes les opérations nécessaires pour les exécutions sans devoir l'autre échafaudages.
  - ❖ coffrages spatiales :
    - ➢ assure un très bon degrés de monolithysation de la structure,
    - ➢ on peut réduire à zéro la consommation de bois sur le chantier,
    - ➢ on peut utiliser coffrages à faces doubles pour assurer le chauffage du béton.

a.3. Structures en béton armé préfabriqué

Dans ce cas on doit respecter les règles suivantes :

- L'emplacement symétrique des diaphragmes par rapport aux axes principaux de la structure.
- On doit prévoir un minimum de trois diaphragmes en sens longitudinal du bâtiment.
- On doit faire un corrélation entre les dimensions des diaphragmes (longueur et hauteur) et les dimensions des chambres.

- Les planchers sont considérés comme diaphragmes horizontaux.
- Les panneaux pour les murs extérieurs sont déjà prévus avec les finitions et les décorations nécessaires.
- D'habitude les panneaux pour les mûrs extérieurs ont la composition suivante :
  - Une couche intérieure de résistance à l'épaisseur de 8 – 12 cm, en béton armé.
  - Une couche d'isolation thermique et phonique à l'épaisseur de 8 – 10 cm, en ouate minérale ou polystyrène expansée.
  - Une couche extérieure de protection et décoratif, à l'épaisseur de 5 – 7 cm, en béton armé.
- Les mûrs intérieurs sont toujours en béton armé à l'épaisseur :
  - De 12 – 14 cm pour les bâtiments avec : RDC + 4 niveaux,
  - De 16 – 18 cm pour les bâtiments avec : RDC + 8 niveaux,
- Les escaliers préfabriqués sont réalisés en forme des panneaux à la longueur d'une rampe.
- Les planchers sont à l'épaisseur de 10 – 14 cm, en béton armé et d'habitude ont la dimension d'une chambre.
- Les joints horizontaux sont réalisés comme des chaînages pour chaque niveau, en béton armé avec une ou deux barres longitudinales.
- Les joints verticaux sont réalisés comme des petits poteaux en béton armé.



b. Structures du bâtiments en cadres

De point de vue de la technologie d'exécution, on peut trouver :

1. Structures en cadres du béton armé monolithe, comme en figure suivante

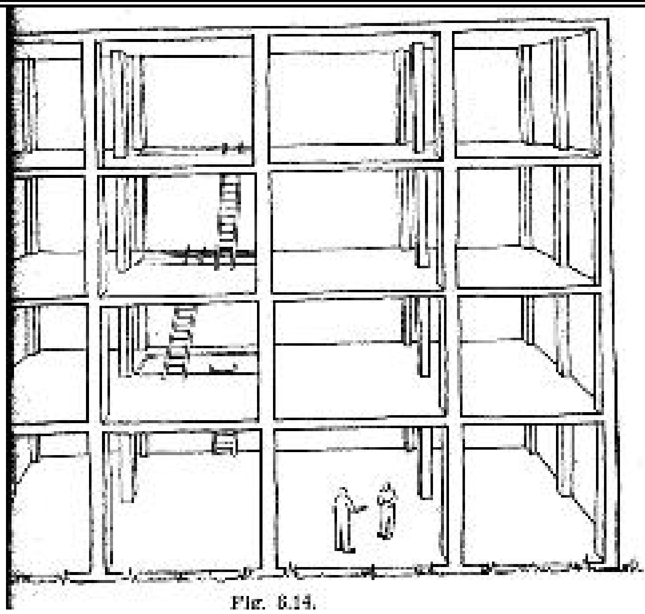


Fig. 6.14.

4. Structures en cadres du béton armé préfabriqué, comme en figure suivante



b.1. Structures en cadres de béton armé monolithe

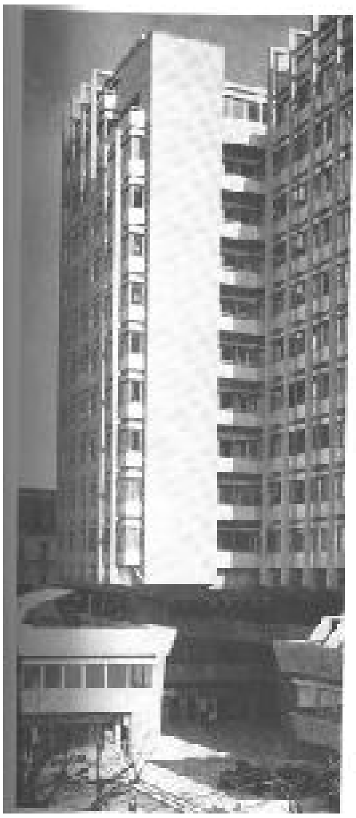
- Ce type de structure donne la possibilité d'un maximum de flexibilité à ce qui concerne l'utilisation de l'espace intérieur.
- On peut trouver ce type de structure utilisé fréquemment pour :

- les écoles - comme en figure suivante :



Fig. 13.8.

- les hôpitaux – comme en figure suivante :



- les magasins –:

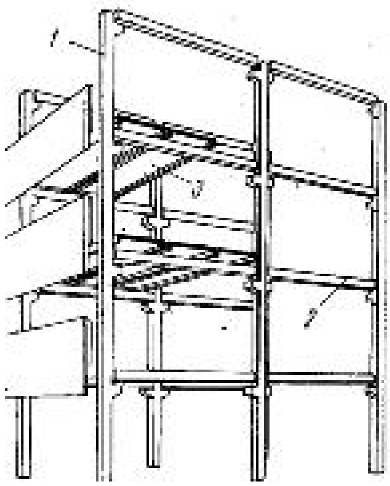


- Pour ce type de structure, on doit respecter les règles suivantes :
  - pour créer l'emplacement des poteaux on doit considérer à la fois :
    - les demandes d'emploi,
    - les demandes de résistance de la structure,
    - les demandes de stabilité.
  - Les cadres doivent être disposés selon les directions orthogonales .

b.2. Structures en cadres du béton armé préfabriqués

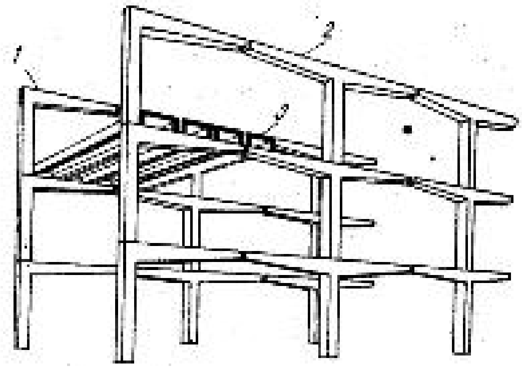
Ce type de structure peut être réalisé du point de vue exécution technologique selon le modèle suivant :

- Avec éléments indépendant de structures, qui sont assemblés en nœuds, comme en figure suivante :

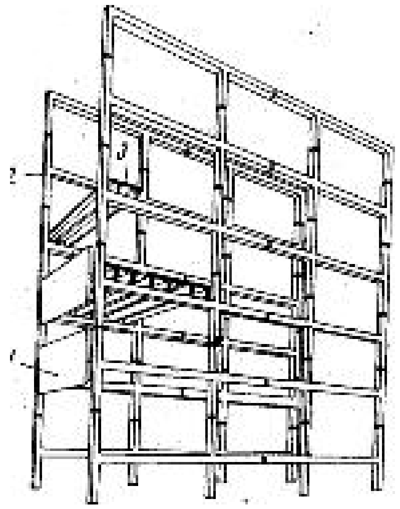


- En petits ensembles qui contiennent un nœud avec ses barres et dans

ce cas la jointure des éléments est faite en zones de sollicitations réduite, selon la figure suivante :

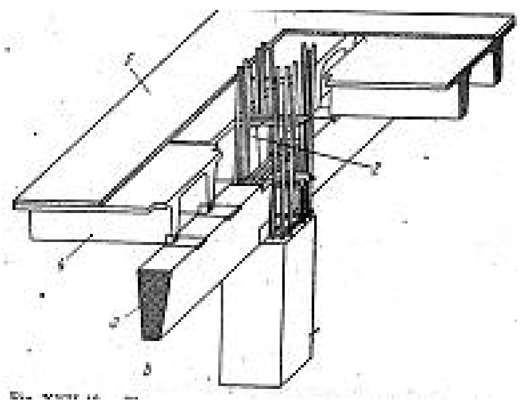


➢ en grands ensembles qui contiennent plusieurs nœuds avec leurs barres :



c. Structures du bâtiment mixte

Sont des structures en cadres de béton armé où les poteaux sont coulés en monolithe sur place, et les poutres sont préfabriqués, (figure suivante) :



d. Structures des bâtiments combinés

Sont des structures qui font un mélange entre une système en cadres et un système en diaphragmes, on trouve :

- un système central en cadres avec une système des diaphragmes tour au tour de lui, comme en figure suivante :

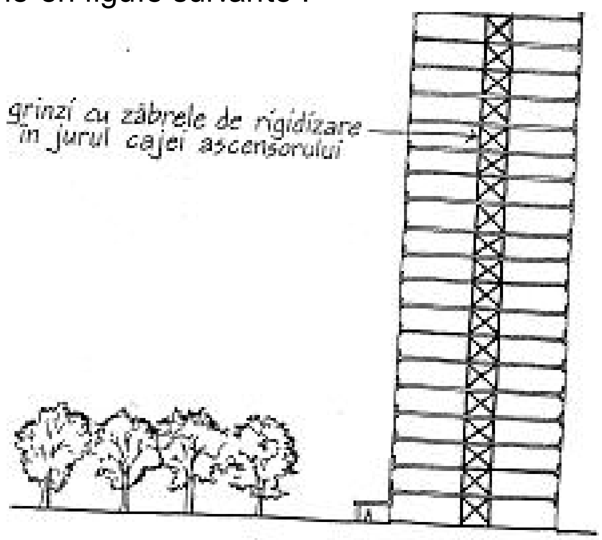
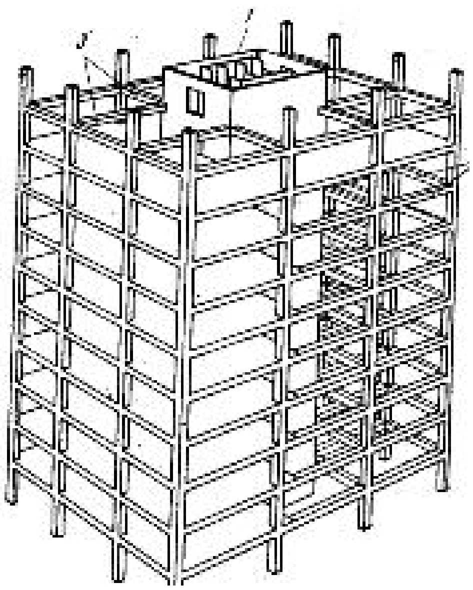


Fig. 12.16.

- un système centrale en diaphragmes avec un système de cadres tout au tour de lui, (figure suivante) :



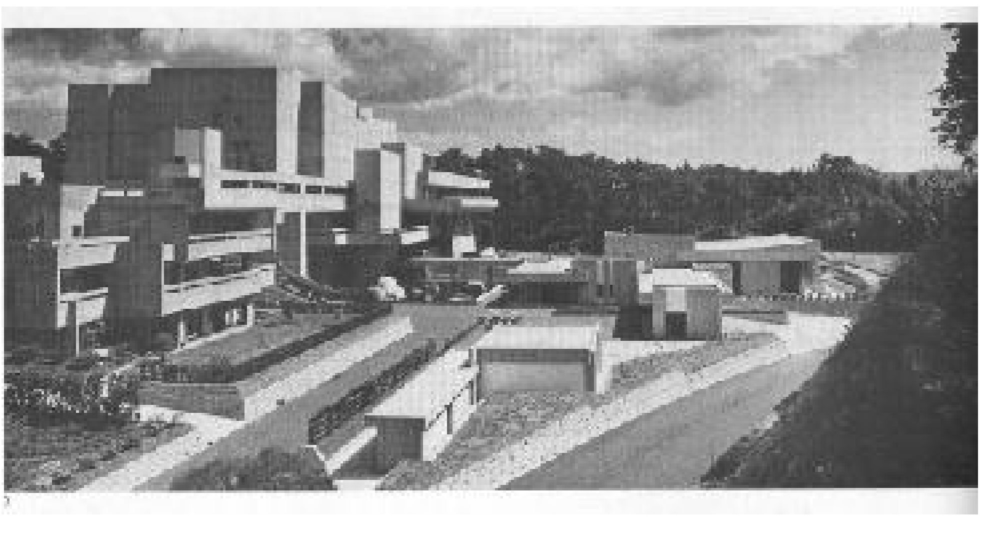
I.1.F. CONSTRUCTIONS INDUSTRIELLES

a) Généralités

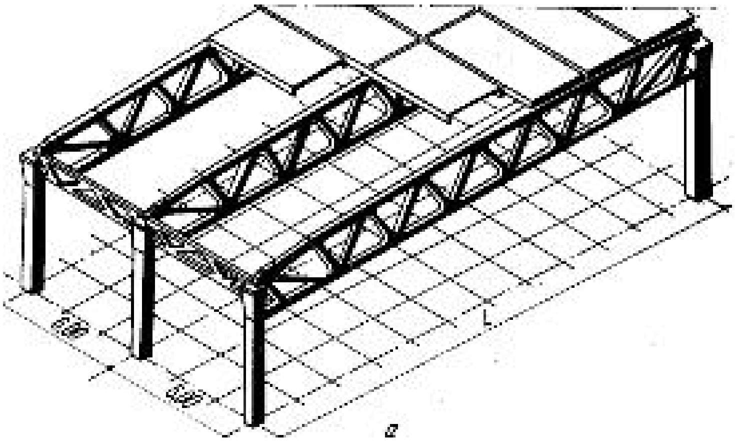
- D'habitude les constructions industrielles s'appellent halle industrielle à cause de ses grandes dimensions .
- On comprend par halle industrielle une grande surface de production, qui peut avoir un ou plusieurs niveaux.
- Quand on doit établir les dimensions d'une halle industrielle, on doit considérer à la fois :
  - les demandes des activités productives,
  - les gabarits des outillages et machines,
  - moyennes de transport spécial comme pontes roulantes, etc.
  - nécessaires des espaces d'accès et dépôts, etc.
- Même temps on doit suivre les buts suivantes :
  - la réduction au minimum des surfaces et volumes construits,
  - l'adoption des trames (travées et ouvertures) qui partage une halle en modules égaux,
  - Les choix d'un schéma statique efficace,
  - l'intensification d'utilisation des projets type,
  - la réduction des éléments de finitions au minimum nécessaire,
  - L'utilisation des matériaux qui peut conduire à la réduction du poids propre.

b) Classification des halles industrielles

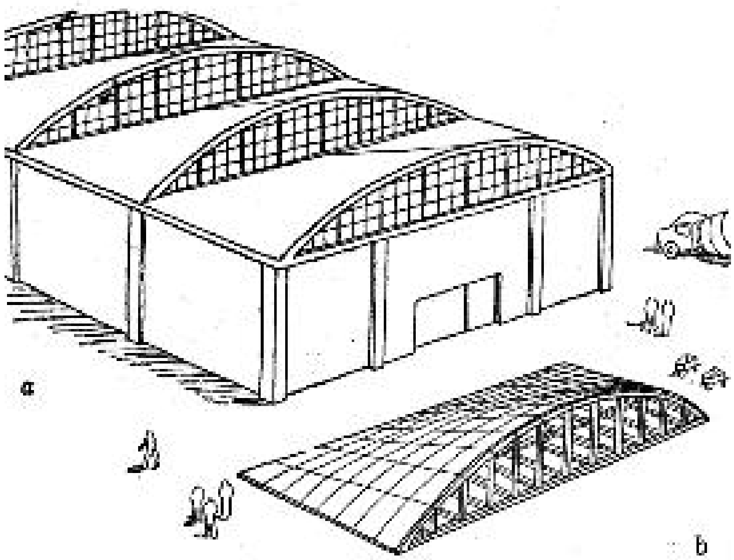
1. Après la technologie de mise en œuvre, on peut trouver :
   - halles en béton armé monolithe :



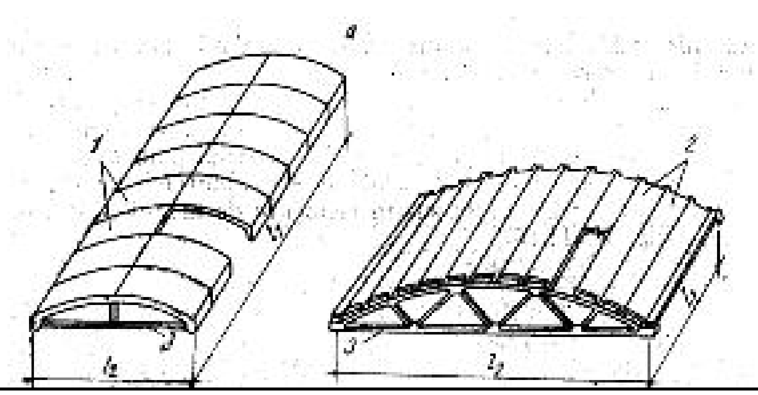
- halles en béton armé préfabriqué :



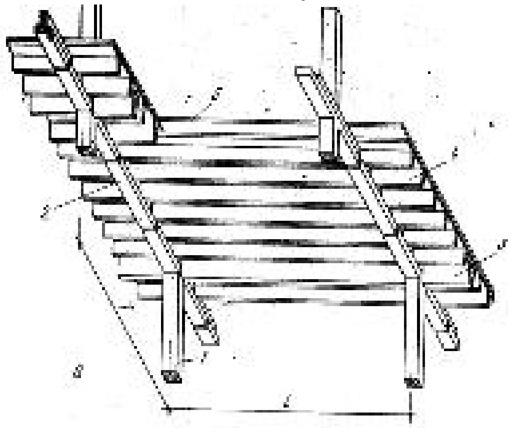
- halles mixtes, comme en figure suivante :



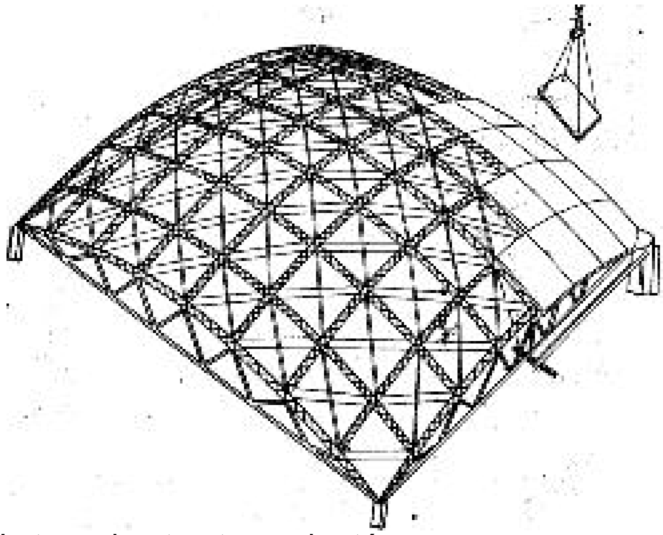
2. Après le numéro des niveaux :
   - halles à un seul niveau, comme ça :



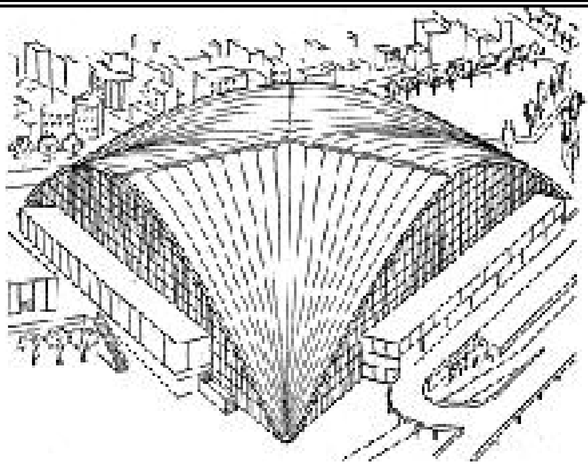
- halles avec plusieurs niveaux :



3. Après la nature des matériaux utilisés :
   - halles en béton armé,
   - halles en constructions métalliques,
   - halles mixtes :



4. Après le type de structure adoptée :
- usuelles,
- spéciaux :



I.1.G. CONSTRUCTIONS AGRICOLES

a) Généralités

Dans cette catégorie des bâtiments on peut trouver :

1. Constructions destinés à la production animalière – et en ce cas s'appelle constructions zootechniques,
2. Constructions destinés à la production végétale – comme les serres,
3. Constructions destinés au stockage – magasins, dépôts, etc.

1. Constructions zootechniques

Pour pouvoir adopter la meilleure solution constructive on doit considérer à la fois les éléments suivants :

- Le type d'animal qu' on doit abriter : veaux, poulets.
- Le système d'entretien et d'alimentation choisis,
- La destination de la production : viande, lait, œufs, etc.

Cette mesure est nécessaire car elle est en rapport avec ces éléments on peut estimer :

- la température et l'humidité nécessaire à l'intérieur,
- le degré d'éclairage nécessaire,
- la ventilation d'air et le débit nécessaire, etc.

2.Constructions des serres

- Selon un emplacement, les serres peuvent être :
  - individuelles,
  - en bloc ou en batterie,
- Selon les matériaux utilisés :

- la structure de résistance peut être en :

  bois,

acier,
aluminium,
- le vitrage peut être réalisé en :
  verre,
  polyéthylène,

3. Dépôts

Du point de vue du mode d'emploi on peut trouver :
- Des constructions pour déposer en plane horizontale : plateformes, entrepôts,
- Des constructions pour déposer en plan vertical : silos en batterie, etc.

I. 2. CONNAISSANCE DES ROUTES

I.2.A. <u>L'étude générale d'un tracé de route</u>

a) Introduction

Le tracé d'une route ou d'une voie ferrée est caractérisé par :
- Son itinéraire en plan – qui représente les parties droites et les virages,
- Son profil en long – qui représente les déclivités plus ou moins fortes.

b) Principes généraux

<u>Le service **constructeur** recherchera **:**</u>

- La plus petite dépense de construction, par :
  - L'obtention d' un trajet court,
  - En réduisant les déblais et les remblais,
  - En réduisant les ouvrages d'arts – ponts, tunnels, murs de soutènement,
  - En évitant les expropriations,

- La plus petite dépense d'entretien, par :
  - l'établissement de la route sur un bon sous-sol,
  - la suppression des points singuliers,

<u>Quant à **l'usager**, il désira qu'on lui offre :</u>

- La plus petite dépense pour le transport, par :
  - un trajet court,
  - des courbes à grand rayon,
  - l'atténuation des succession de pentes et rampes.

- La sécurité et la commodité, par :
  - une route large,
  - une grande visibilité en tous les points du tracé,
  - la suppression de croisement à niveau et carrefours
- Accessoirement ou l'agrément du voyage pour le tourisme.

Ces conditions sont en général difficilement compatibles et l'on cherchera un compromis acceptable. D'habitude ces deux points de vue ne doivent pas être considérés comme opposés et le service constructeur doit se placer du point de vue de l'intérêt général pour déterminer les caractéristiques de son projet.

c) L'étude sur la carte

Premier fois on procède à l'étude de l'axe de la route sur les cartes à petite échelle – 1/50.000, par exemple pour un tracé assez long (au moins 10 km)

On doit alors faire entrer en ligne de compte :

- Les considérations de géographie politique – villes à relier par l'itinéraire ;
- Les considérations de géographie physique – massifs montagneuse à traverser ou à contourner, cours de l'eau à croiser ou à suivre, etc.
- Les considérations de géographie économique – localités dont les habitants seront les usagers, industries à desservir, points de commerce important, etc.
- Les considérations géologiques – on évitera les parties humides, fonds de vallées, parties marécageuse, les points de formation des brouillards, les couloirs d'avalanches, les parties soumis en montagne aux chutes de pierres, etc.
- Les considérations stratégiques imposées par les autorités militaires.
- Les considérations touristiques et esthétiques – mise en valeur des richesses touristiques telles que sites naturels et monuments historiques.

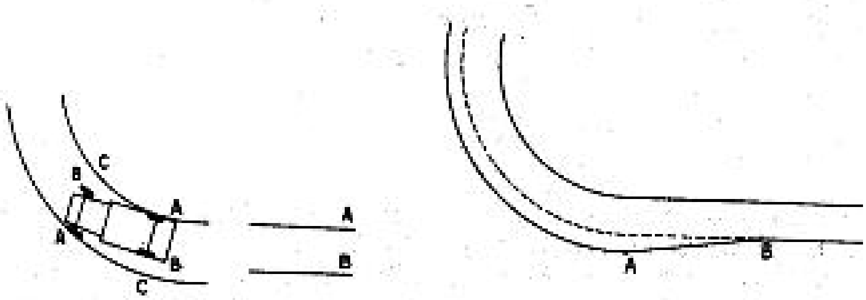
On arrivera ainsi à déterminer un certain nombre de points de passage obligés du tracé et au contraire, les régions à éviter, ce qui fractionnera le projet en plusieurs tronçons assez courts, plus facile à étudier en détail.

d) L'étude sur le plan

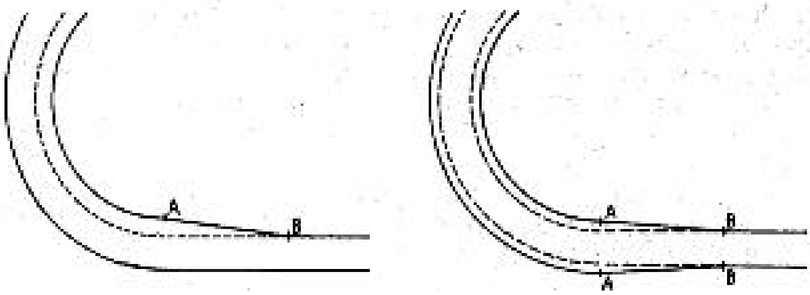
On aura recours à des plans de grande échelle : 1/20.000 ; 1/10.000 ou cadastre, pour préciser le tracé entre les points déjà déterminés. Après ça, on procédera à des reconnaissances plus détaillés du terrain et on arrivera à arrêter une zone plausible du tracé, sur laquelle on effectuera les travaux topographiques (lever et nivellement) en vue d'arrêter le tracé possible.

e) Caractéristiques techniques en plan

- Les parties droites, seront reliées par des courbes, dont le rayon sera le plus grand possible, comme en figure suivante :



- Sur les voies ferrées les courbes devront avoir des rayons beaucoup plus grands que sur les routes.
- Pour les voies secondaires, les voies souterraine, les caractéristiques sont moins sévères que sur la grande ligne, comme en figure suivante :



- Quand seront établis les virages, on devra aussi respecter les éléments suivants :
  - Ne pas placer les courbes aux abords des ouvrages d'arts (ponts, tunnels, etc.) pour assurer la visibilité et la sécurité en ces points délicats du tracé.
  - Ne pas se faire succéder immédiatement deux courbes de rayons différents.
  - Ne pas placer à la suite l'une de l'autre deux courbes de sens inverses.
  - Il faudra toujours séparer des courbes successives par des parties droites suffisamment longues pour que les voitures puissent reprendre leur stabilité avant d'aborder le virage suivant.

f) Caractéristiques techniques en profil en long

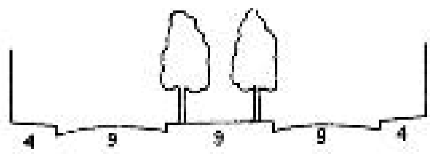
- Le profil en long de la route doit :
  - répondre à la nécessité de s'adapter au relief du terrain naturel,
  - répondre à la nécessité d'écouler les eaux de pluie.
- Pour assurer l'écoulement des eaux, on évitera les parties absolument horizontales (paliers), en les remplaçant par une déclivité légère de 6 à 8 mm par mètre. Dans les parties très longues où le sol naturel est horizontal, on doit prévoira une succession de pentes et rampes avec la déclivité minimale.
- Au contraire, pour les voies ferrées on recherchera les paliers, car ils facilitent la traction des trains et l'écoulement est assuré par le ballast, qui n'est pas

imperméable comme le revêtement d'une route.

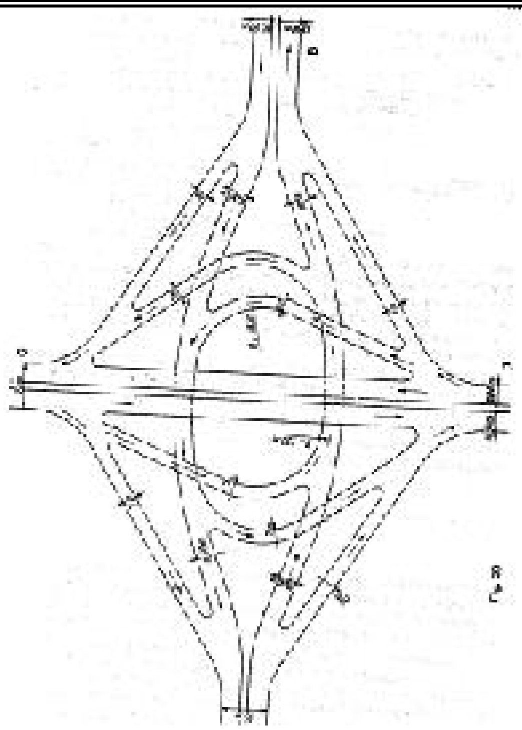
- Pour le profil en long on doit faire ressortir également deux principes logiques :
  - Il faut éviter de placer un point bas du profil en long dans une partie en déblai – pour faciliter l'évacuation des eaux pluviales.
  - En sens inverse il est contre- indiqué de prévoir un remblai dans un point haut.

g) **Caractéristiques des autoroutes**

- Les autoroutes sont des voies routières à destination spéciale, sans croisement, accessible seulement en un point aménagé à cet effet et essentiellement réservé aux véhicules à propulsion mécanique.
- Les autoroutes sont interdites aux :
  - piétons,
  - cyclistes,
  - véhicules hippomobiles,
  - etc.
- Sur autoroutes le stationnement est interdit sauf en cas de force majeure et sauf aux points spécialement aménagés.
- Sur les autoroutes, les propriétaires des parcelles voisines n'ont ni droit d'accès ni droit de façade.
- Selon la destination on peut distinguer :
  - autoroutes de dégagement urbain, destinées à livrer le passage à un nombre très élevé de véhicules sortant d'une grande agglomération :



  - autoroutes de liaison, assurant sur des grandes distances les liaisons entre grandes villes, ou de région à région :



- Après qu'on ait examiné successivement toutes les considérations générales et les caractéristiques techniques on peut faire le tracé théorique et le tracé réel.

- Il convient, après que le tracé réel il a été relevé sur le plan, de préparer le profil en long, qui devra dresser suivant l'axe de la route.

I.2.B. Les dossiers d'une route

a) Dossier de l'avant projet sommaire

Cet avant – projet devra permettre à l'autorité compétente de prendre une décision sur le choix de la solution et sur la poursuite des études et comprend :

1. Le plan de situation à échelle 1/100.000 ou 1/200.000,
2. Le plan général à échelle 1/10.000 ou à une échelle plus grande, plan qui comportera les courbes de niveau et les tracés des différentes solutions.
3. Profil en long simplifié de la solution retenue,
4. Profil en long sommaire des solutions non retenues,
5. Profil en traverse type,
6. Estimation sommaire,
7. Rapport justificatif.

b) Dossier de l'avant projet détaillé

Ce dossier ne concernera que la seule solution choisie et comprendra :

1. Plan de situation comme précédemment,
2. Plan de détail à une échelle entre 1/2000 et 1/500,

3. Profil en long définitif,
4. Profil en travers type au 1/100,
5. Profils en travers calculés pour les terrassements,
6. Cahier des sondages de reconnaissance des sols,
7. Métré des terrassements,
8. Tableau du mouvement des sols,
9. Dessin d ensemble des ouvrages d'art montrant leurs dispositions,
10. Devis estimatif des dépenses, pour les acquisitions immobilières,
11. Mémoire rappelant les dispositions de l'avant projet sommaire,
12. Etude détaillée de rentabilité de l'opération,
13. L'avant projet géométrique.

c) Dossier du projet d'exécution

Dans ce cas l'étude est précisée sur le terrain par le piquetage : de l'axe, de profils en travers, des changements de direction et des ouvrages d'arts ; de façon à préparer un projet qui soit le reflet le plus exact possible du travail réel à exécuter.

Ce document servira d'ailleurs à la fois pour le chantier, le mesurages des travaux et leur règlement.

Ce dossier comprendra les pièces énumérées ci-dessous et sera présenté de la manière suivante :

Bordereau 0 :
1. Conditions d'appel à la concurrence,
2. Règlement particulier de l'appel d'offres,

Bordereau 1 : Pièces constitutives du marché :
1. Cadre de l'acte d'engagement (A.E.),
2. Cahier des clauses administratives particulières (C.C.A.P.),
3. Cahier des clauses techniques particulières (C.C.T.P.)
   Il est accompagné par les plans d'exécution :
   - plan d'implantation,
   - profil en long,
   - profil en travers,
   - détails des ouvrages, etc.
4. Cadre de bordereau des prix,
5. Cadre du détail estimatif,

Bordereau 2 : Pièces utiles à l'intelligence du projet :
1. Plan de situation,
2. Sondages,
3. Avant métré, etc.

I. 2. C. CLASSIFICATION DES ROUTES

a) Selon leur ordre d'importance, les routes sont :

- Voies rapides urbaines – qui se rapprochent assez des

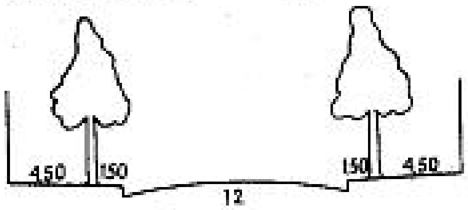
caractéristiques des autoroutes, (Voir figure) :



- La voirie primaire – qui sont les axes importants de circulation :



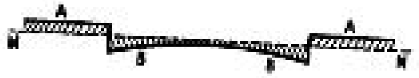
- La voirie secondaire – reliant les quartiers entre eux :



- La voirie tertiaire – servant de voirie de distribution dans les îlots



Fig. 31



b) Selon leur tracé général, on trouve :

- Les voies de radiales – dessinées comme les rayons d'une roue, du centre la ville vers l'extérieur ;
- Les voies transversales – reliant les voies radiales entre elles ;
- Les voies périphériques ou de rocade – tracées par exemple à la limite entre la vieille ville et ses faubourgs ou entre les faubourgs et la banlieue ; ce sont des boulevards de ceinture.

c) Après leur adaptation à la topographie des lieux, on trouve :

- Les quais – qui sont des voies tracées de part et de l'autre de l'obstacle que constitue une rivière traversant la vile :

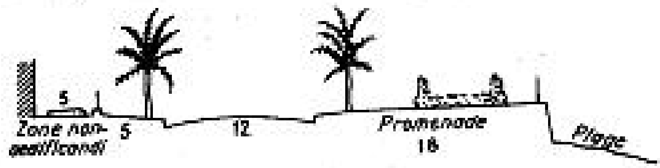
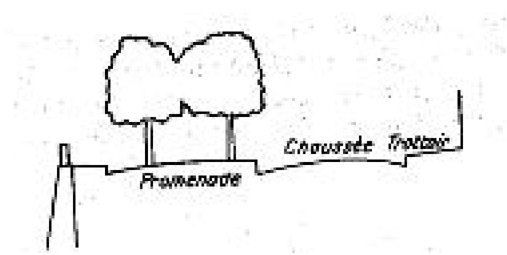


Fig. 21

- Les voies tracées dans les thalwegs naturels, qui seront précieuses pour recevoir les ouvrages principaux d'assainissement drainant les quartiers environnants :

186



- Les voies tracées selon les lignes de plus grande pente du terrain, éventuellement avec des lacets si la pente est trop forte, pour relier la ville haute à la ville basse.
- Les voies tracées le long des courbes de niveau pour desservir facilement les terrains voisins :

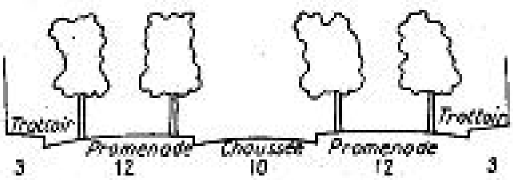


Fig. 22



d) Selon leur utilisation, il existe :

- Les voies piétonnières – interdites aux voitures pour être réservées aux piétons :



- Les routes des quartiers résidentiels – destinées à un trafic peu nombreux de voitures particulières, presque sans véhicules lourds :

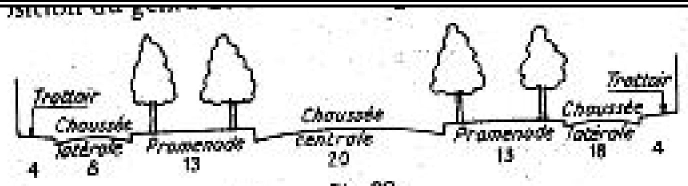
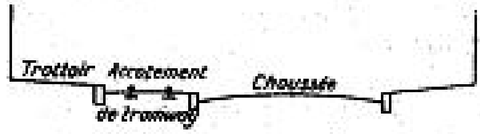
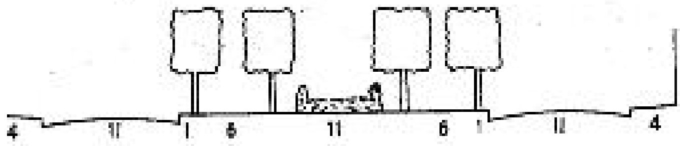


Fig. 22

- Les voies de desserte des quartiers industriels, où le trafic des poids lourds est, au contraire des voies précédentes, prépondérant :



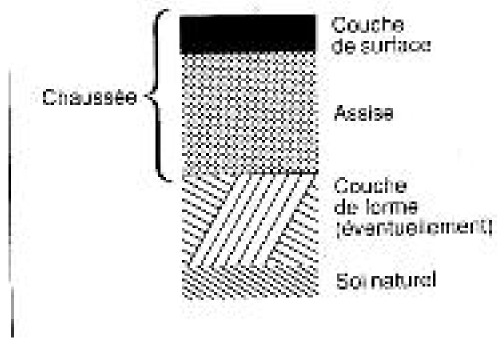
- Les voies à tout usage, parmi lesquelles celles qui constituent des itinéraires importants seront saturées aux heures de pointe du matin et du soir :



I. 2. D. <u>Les étapes de la construction d'une route</u>

a) Couches des chaussées

- Chaque chaussée est composée par différentes couches de matériau disposées un au-dessus l'autre, pour supporter la circulation, comme en figure n° 48 :



- D'habitude une chaussée comporte les couches suivantes :

1. **La sous – couche (sub – base en anglais),** qui peut être : -
   - une couche barrière pour s'opposer à des remontées d'argile ;
   - Ou drainante pour s'assurer l'évacuation de l'humidité ;

- Anticapillaire pour s'opposer aux remontées d'eau par capillarité ;
- Antigel, pour s'opposer au gel ;

Une sous-couche donnée peut assurer un ou plusieurs de ces rôles à la fois.

2. **La couche de fondation (foundation-course en anglais),**

3. **La couche de base (base-course en anglais),** qui doit être réalisée chaque fois plus soigneusement et avec de meilleurs matériaux. Son rôle est de repartir sur le terrain la pression provenant de la circulation des véhicules. La couche de fondation ensemble avec la couche de base constitue le corps d'une chaussée.

4. **La couche de surface (surfacing-course en anglais),** qui peut être simple ou multiple – et dans ce cas il a une couche de liaison et la couche de roulement. Parfois la couche de surface peut être utilisée comme une couche de reprofilage si elle est destinée à corriger les inégalités de surface ou le bombement excessif d'une ancienne chaussée.

b) Sols et matériaux

❖ Un sol est un matériau composé de grains solides minéraux distincts, mais qui contient également de l'air et de l'eau. D'après la grosseur de grains, on distingue :
  - Les cailloux – supérieurs à 20 mm en diamètre ;
  - Les graviers – compris entre 20 et 2 mm ;
  - Les sables gros – de 2 à 0.2 mm ;
  - Les sables fins – de 0.2 mm à 20 microns ;
  - Les limons (ou les silts) – de 20 à 2 microns ;
  - Les argiles – inférieure à 2 microns ;

❖ On appelle un **grave** un mélange de cailloux, de graviers, de sables et de particules fines.

❖ Un **grave naturel** est celui tiré de la carrière et employé tel quel.

❖ Un **grave reconstitué** est un mélange des limons aux cailloux dosés scientifiquement entre eux dans certaines proportions pour que leur mélange réponde à des spécifications déterminées par des essais de laboratoire.

c) Propriétés des sols

Les plus importantes propriétés d'un sol, pour les travaux de construction des chaussées sont :

❖ <u>La teneur en eau d'un sol</u> – qui est la quantité d'eau, exprimée par un pourcentage, que contient le sol. Par rapport de ce facteur on peut programmer la manipulation, le compactage et on peut déterminer son comportement sous les charges.

❖ <u>La densité sèche d'un sol</u> – est la densité mesurée après que l'échantillon du sol a été humidifie, compacté et puis séché en laboratoire. Elle sert de référence pour estimer le degré de compactage obtenu sur le chantier.

- <u>La portance d'un sol</u> – est son aptitude à supporter les charges des roues des véhicules. Elle est définie par référence à un essai effectué dans des conditions bien déterminées.
- <u>La déflexion d'une chaussée</u> – est le déplacement vertical d'un point de cette chaussée au moment du passage d'une roue de véhicule. Elle est déterminée en centièmes de millimètres.

d) L'exécution des terrassements

Les terrassements contiennent deux grandes catégories des travaux :

- <u>Déblais</u> – qui sont utilisés quand on doit descendre le niveau de la route sous le terrain naturel. Si l'inclinaison des talus de déblai dépasse quelques mètres de hauteur, on aura recours à un mur de pied, (Voir figure) :

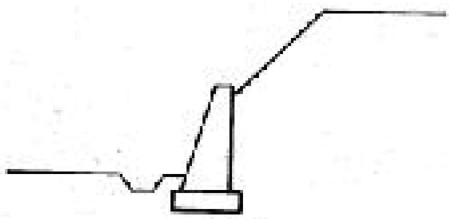


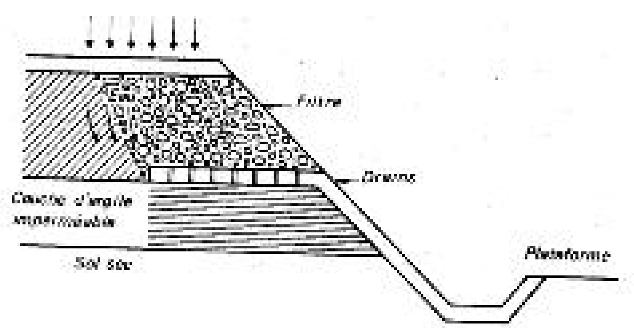
Fig. 4

- <u>Remblais</u> – qui sont utilisés quand on doit soulever le niveau de la route. Habituellement pour des raisons d'économie on devra chercher à employer en remblai les déblais provenant d'avant. Un remblai doit pouvoir être compacté avec efficacité sans trop de difficulté.

e) Drainage

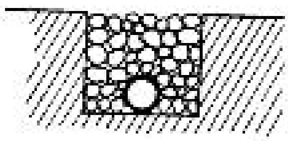
On peut trouver les cas suivants :

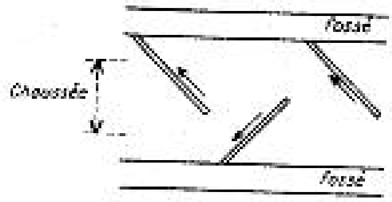
- <u>Drainage des talus</u> - quand des arrivées d'eau sont à craindre en arrière des talus et alors on doit chercher à canaliser cette eau par des drains surmontés d'un filtre en grosses pierres, (Voir figure) :



- <u>Drainage de la plateforme</u> – qui comprend une série de petits tuyaux en poterie mis bout à bout sans joint maçonné de

façon à recevoir l'eau extérieure.





Ces types des drains sont placés dans une tranchée drainante, creusée dans le sol naturel sous chaussée, comble de gros cailloux, ce qui constitue un véritable filtre à eau, avec une pente d'au mois 2 cm/mètre, dirigée vers l'extérieure de la plateforme.

f) Couche de fondation

Dans la majorité des cas, le sol (naturel ou remblai) n'a pas une résistance suffisante et céderait sous la pression des roues. Alors, il faut interposer des matériaux ayant une plus grande cohésion, qui peuvent se répartir sur une surface importante au sous-sol la pression provenant du véhicule. La pression exercée sur le sous-sol sera d'autant plus faible, que la couche de matériaux interpose sera plus épaisse.

Selon la nature des matériaux utilisés, la couche de fondation peut être :

1. En béton d'argile – c'est un procédé très économique, qui suit les étapes suivantes :
   - On exécute un défonçage du terrain sur 0,15 m de profondeur, en pulvérisant les mottes ;
   - On fait l'apport de matériaux additionnels éventuellement nécessaires, qui manqueraient dans le sol naturel ;
   - On procède à un brassage pour réaliser un bon mélange des éléments de différente grosseur ;
   - On arrose et on comprime au cylindre ou engins spéciaux, en donnant le profilage voulu.
2. Emploi de graves – est une méthode moderne, qui utilise le tout-venant de la carrière. Le grave est un matériau bien souvent concassé élaboré avec ce qu'on tire du gisement, que l'on corrige ensuite pour qu'il répond à certains critères de qualité :
   - Grosseur s'échelonnant depuis la grosseur des grains d'argile, soit quelques microns, jusqu'à 60-80 mm ;
   - Qualités d'adhérence mutuelle et bonne résistance au poinçonnement ;
   - Teneur en eau déterminée.

   Pour améliorer la tenue des graves et leur portance en y incorporant du ciment au taux habituel de 4% en poids, soit environ 60 à 80 kg/m^3.
3. En pierre – dans ce cas la couche de fondation est constituée par des blocs de pierre posés debout pour former une couche de 0,25 m d'épaisseur, tout d'abord placés à la main, puis fortement tassée à l'aide d'un cylindre compresseur de 10 à 15 tonnes.

3. En laitier de haut fourneau – qui provient de la fusion des impuretés du minerai de fer dont a été tiré le métal. Après sa sortie du haut fourneau et son refroidissement, on le concasse pour produire de la pierre cassé pour l'utiliser. Cylindré et arrosé, il fait prise au bout de plusieurs mois et se présente comme une masse compacte, extrêmement dure, ce qui est favorable pour la tenue de la route sous le passage des véhicules lourds.

g) Couche de roulement

Il est à peu prés obligatoire de revêtir la chaussée d'une couche de roulement constituée par des matériaux de haute qualité, durs, pour résister aux frottements et aux chocs ; rugueux pour bien s'accrocher entre eux et ne pas former une route glissante.

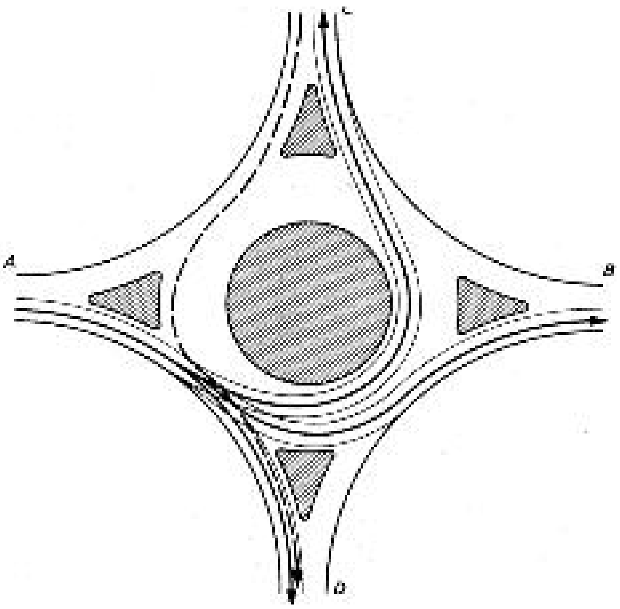
Cette couche peut être en :

1. Empierrement ordinaire – quand les pierres cassées sont liées entre elles par des sables argileux. La cohésion ainsi obtenue serait insuffisante et alors on doit utiliser du bitume pour lier entre eux les matériaux.
2. Grave-ciment – en ce cas on utilise un mélange composé de cailloux, de sable, de ciment et de l'eau. L'épaisseur sera de 18-27 cm, mais nécessite plusieurs mois pour atteindre sa dureté totale qu'il conservera ensuite. Dans ce cas il faut réserver des joints pour permettre au béton de suivre différentes variations de volume.
3. Grave –bitume –dans ce cas des assises de bas en haut, dans l'ordre chronologique de mise en place sont :
   - Une sous-couche en sablon en sablon ou en mâchefer, par exemple
   - Une couche de fondation en « tout-venant » de carrière ;
   - Une première couche de base en grave concassée calibrée ;
   - Une second couche de base en grave ciment ;
   - Un enduit d'accrochage en bitume ou en émulsion de bitume ;
   - Une couche de roulement, fait par enduit monocouche, bicouche ou tricouche ; ou par une couche d'enrobés denses puis une couche de béton bitumineux.
3. Les liants hydrocarbonés qui sont utilisés souvent, sont :
   - Le goudron de l'houilles – obtenu au cours de la distillation du charbon dans les usines à gaz.
   - Le bitume naturel – existant en petites quantités à l'état pur en Palestine, aux Antilles, etc.
   - L'asphalte – qui est une roche naturelle constituée par des calcaires imprègnes de bitume.
   - Les bitumes artificiels – qui est un produit visqueuse obtenu au cours de la distillation des pétroles.
   - Les cut-backs –qui sont des mélanges des bitumes très visqueux et

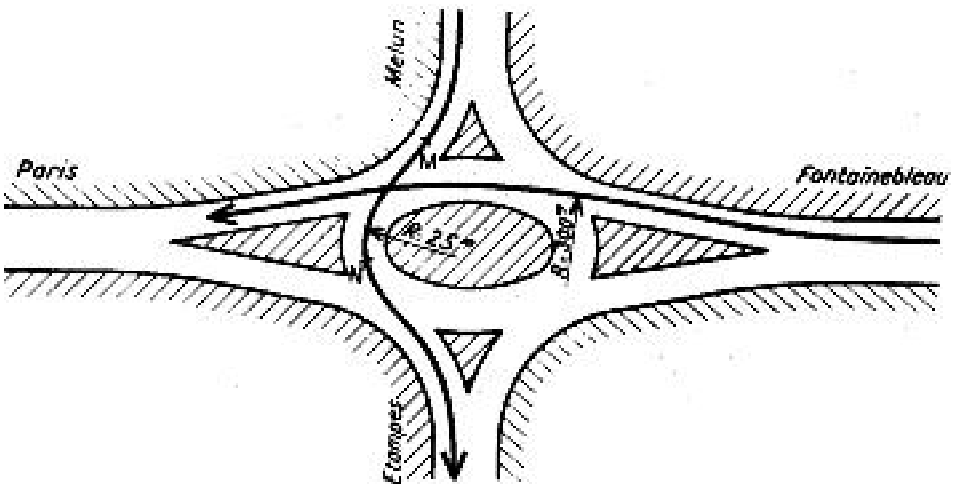
d'huiles légères de pétrole pour reconstituer des bitumes fluides.

h) Les carrefours

- Chaque carrefour doit faire l'objet d'une étude : on dessine les arrivées des routes et les trajets des véhicules. Ensuite ça on doit prévoir les bords des carrefours tels que placer éventuellement des îlots pour que les points de conflit soient supprimés ou atténués. Sur les carrefours importants (à partir de 500 véhicules à l'heure) on est conduit à installer la circulation giratoire autour d'un refuge central :

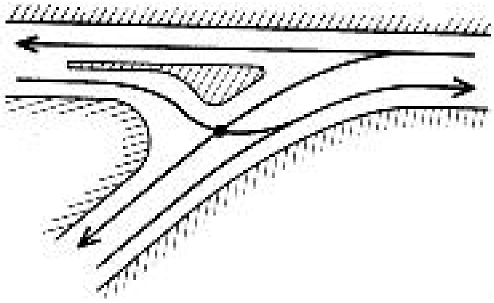


- Dans ce cas, entre deux voies d'égale importance, on voit qu'on réalise entre les trajets AB et CD la disposition tangentielle. Quand l'importance d'une route est plus marquée sur l'autre, on peut prévoir un carrefour giratoire atténue, avec îlot ovale :

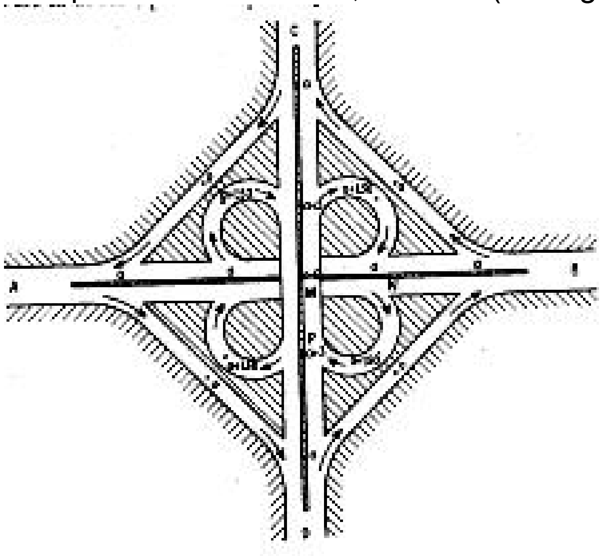


- Pour une bifurcation, on pourrait envisager la disposition de la figure ci

dessous :



- Lorsque l'intensité de la circulation est très forte, on arrive à envisager de séparer complètement les deux routes qui se croisent, en le faisant passer à deux niveaux différents à leur point de croisement, comme (Voir figure) :



Ou même à trois niveaux différents.

i) Bornage et signalisation

Les routes sont jalonnées par des bornes kilométriques portant le numéro de classement de la route et l'indication sur chaque face des localités voisines, avec leur distance de la borne. Ces bornes définissent des points kilométriques (P.K.) qui servent à désigner un point donné de la route.

Au départ de ça, en concordance avec des conventions internationales, sont les panneaux de signalisation, pour signaler à l'usager : croisements, virages, cassis, directions, etc.

j) Plantations et éclairage

Les plantations d'arbres sur les accotements des routes présentent différents avantages :

- permettent le maintien du sous-sol par les racines, dans les parties en remblais,
- ombragent les routes et protègent ainsi le revêtement des ardeurs du soleil,
- servent à jalonner l'itinéraire, pour la temps de nuit, de neige ou de brouillard,
- constituent un ornement de la route et un agrément pour les usagers, Les espaces entre les arbres sont de 8 à 20 m.

L'éclairage doit être en rase de campagne pour des points singuliers comme : les carrefours, les bifurcations, les ouvrages d'arts, etc. ; et en localités sur tout le tracé.

Les luminaires doivent avoir une hauteur importante pour que leurs supports soient écartés au maximum du bord du chaussée, tout en plaçant la tache de brillance vers le milieu de celle-ci.

I. 3. CONNAISSANCE DES OUVRAGES D'ARTS

I. 3. A. PONTS

a) Généralités

Définition : Un pont est un ouvrage d'art qui permet à une voie de communication de franchir soit un obstacle naturel (brèche, cours d'eau, etc.) soit un obstacle artificiel (autre voie , etc.)

Depuis longtemps les hommes ont aménagé de petites constructions pour pouvoir passer les cours d'eau, (figure ci-dessous) :

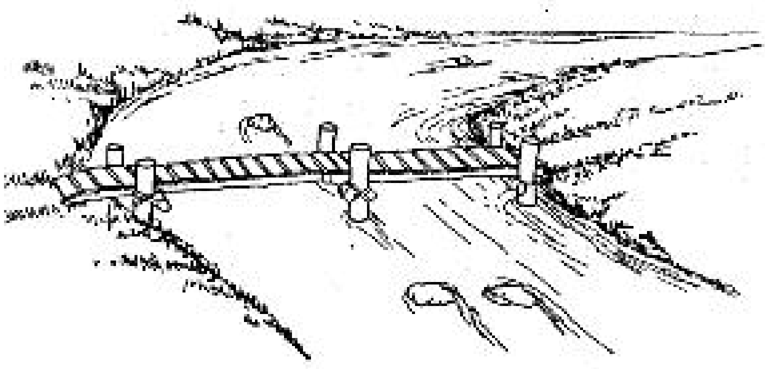
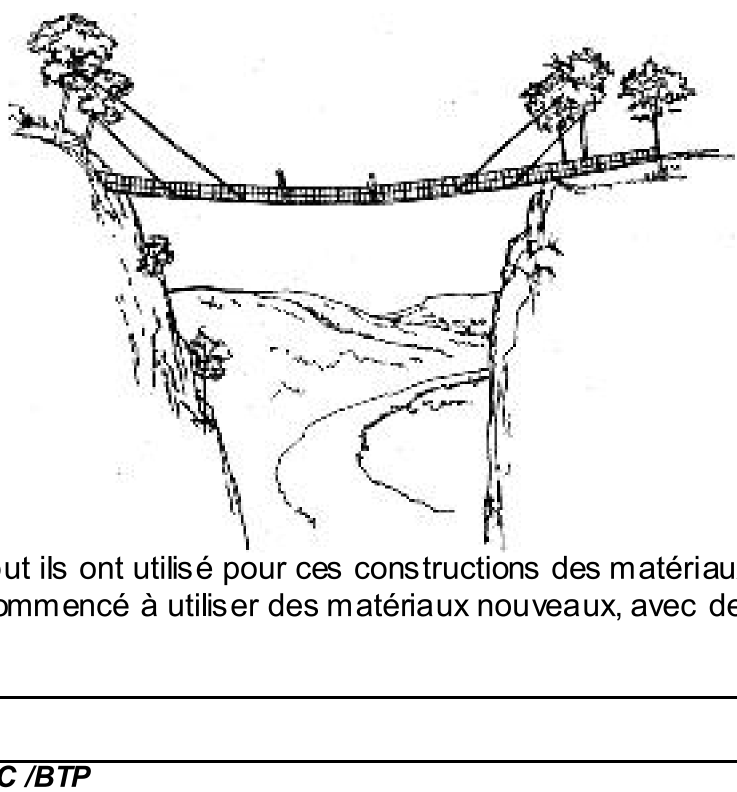


Fig. 1.5.

ou pour passer d'un côte à l'autre d'une montagne, (figure ci-dessous) :



Si au début ils ont utilisé pour ces constructions des matériaux naturels, par la suite on a commencé à utiliser des matériaux nouveaux, avec de bonnes résistances

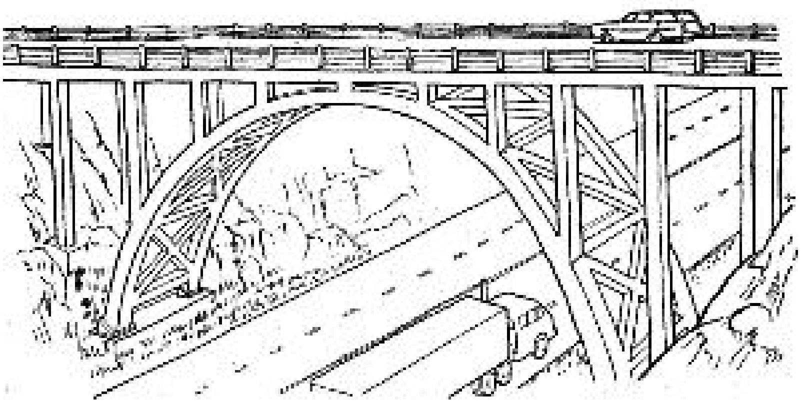
b) Classification des ponts

Les ponts peuvent être classifiés selon les critères suivants :
1. Leur destination
2. Leur forme,
3. Les matériaux utilisés,
4. Leur importance, etc.

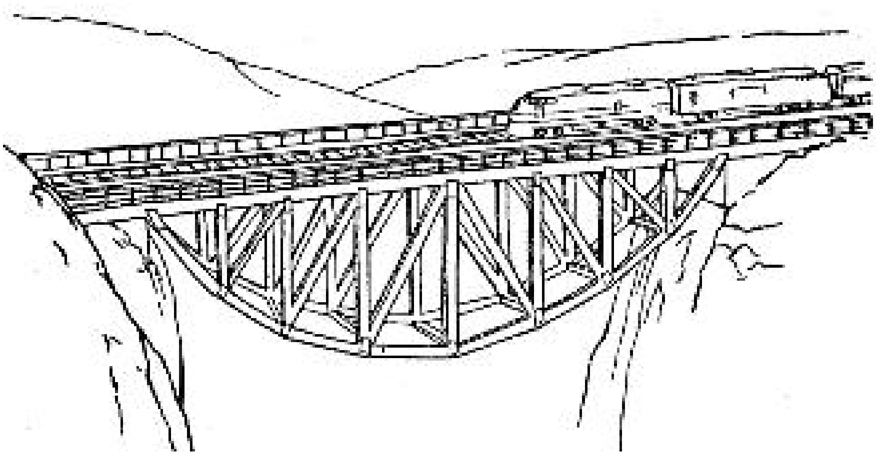
1. Leur destination :

Suivant la nature de la voie de communication que porte l'ouvrage, on distingue :

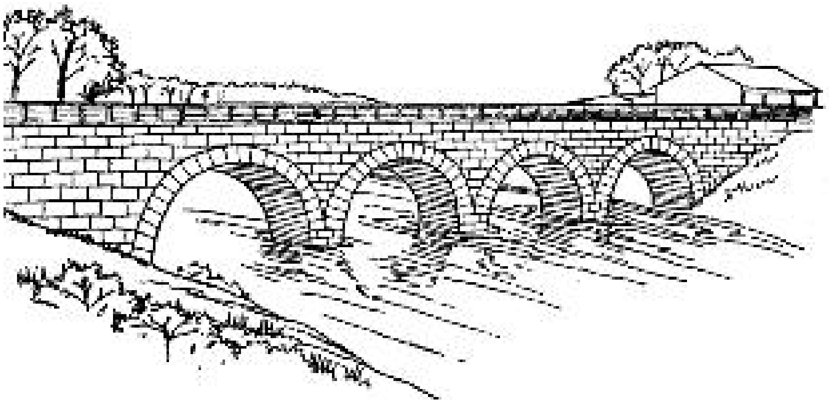
- Le pont route – avec la mention que lorsqu'un pont franchit une voie ferrée, il prend le nom de «passage Supérieur » :



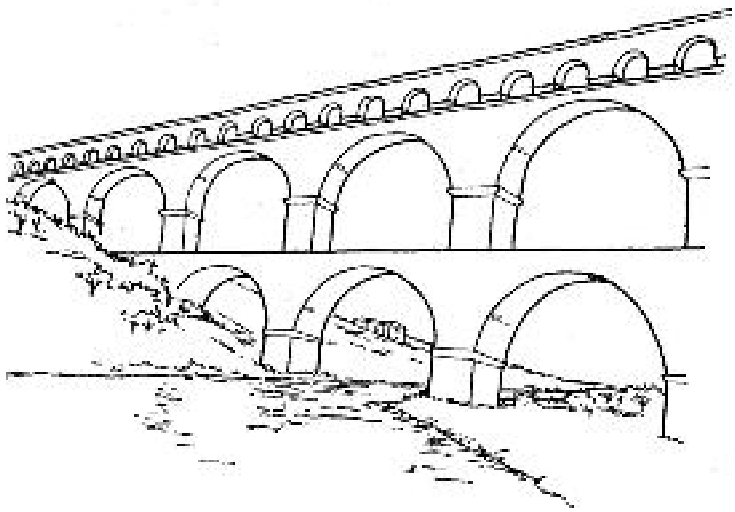
- Le pont rail – avec la mention que lorsqu'un pont rail franchit une route il s'appelle «passage Inférieur » :



- Le pont canal :

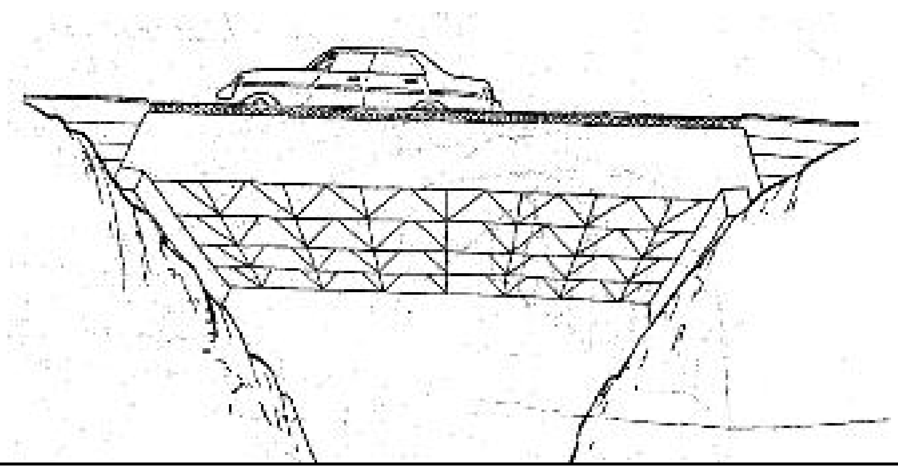


- Les aqueducs – qui sont des ponts en maçonnerie utilisés pour les adductions d'eau, (Voir figure) :

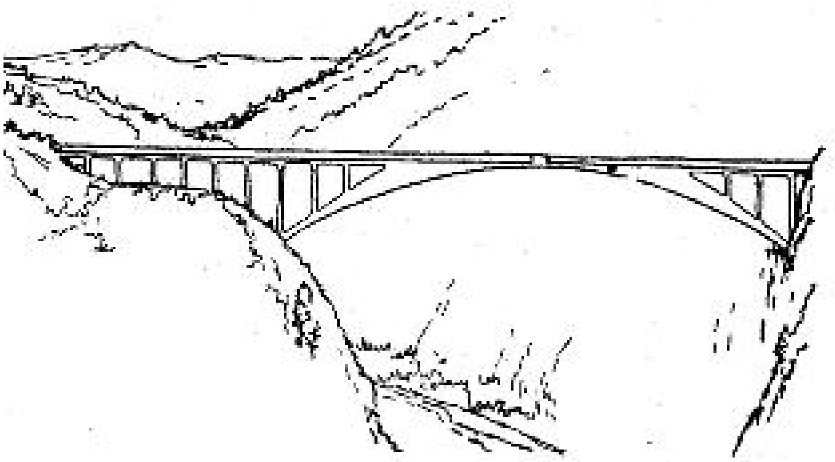


2. Selon leur forme, les ponts sont dits :

- A poutre droite :



- En arc, comme figure ci dessous:



- Suspendu, comme (Voir figure) :



3. Après la matière de construction :
   - En bois,
   - En maçonnerie :

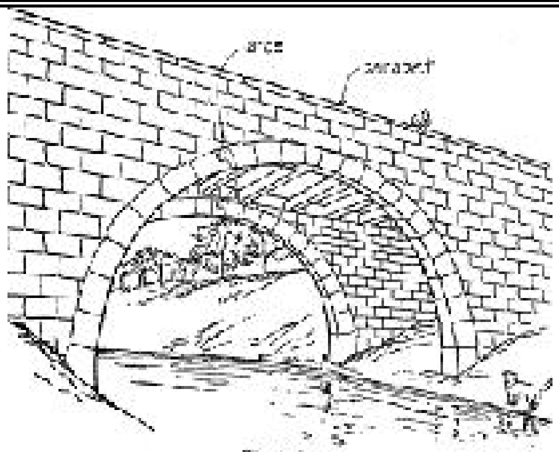
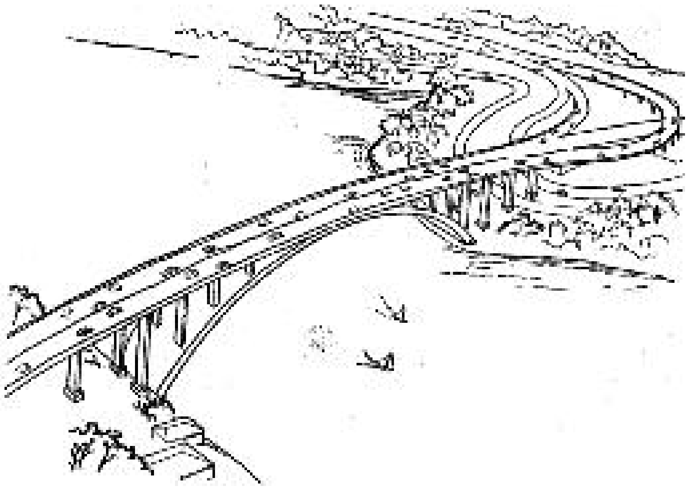
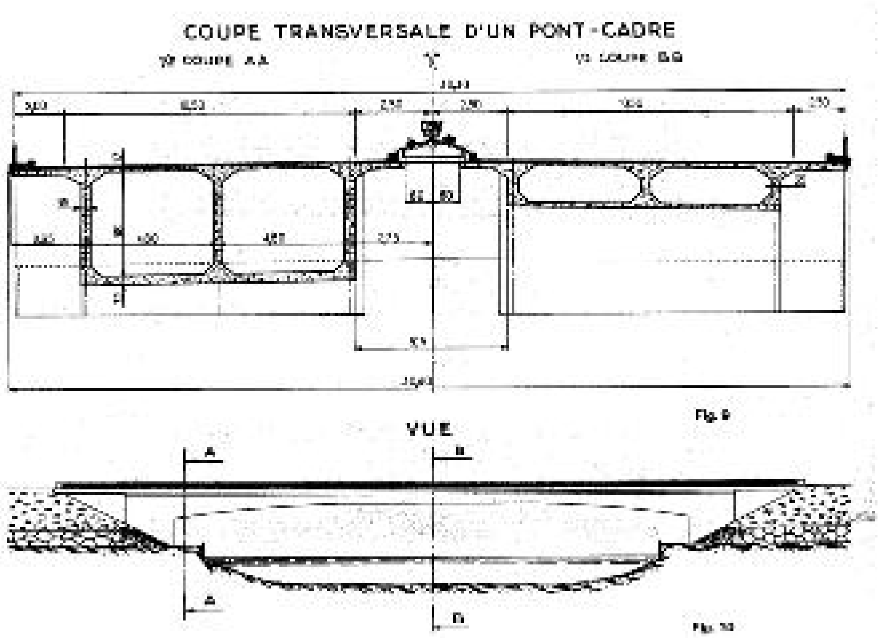


Fig. 11.3

- En béton armé :



- En béton précontraint :



- En acier :

Fig. 11.13.

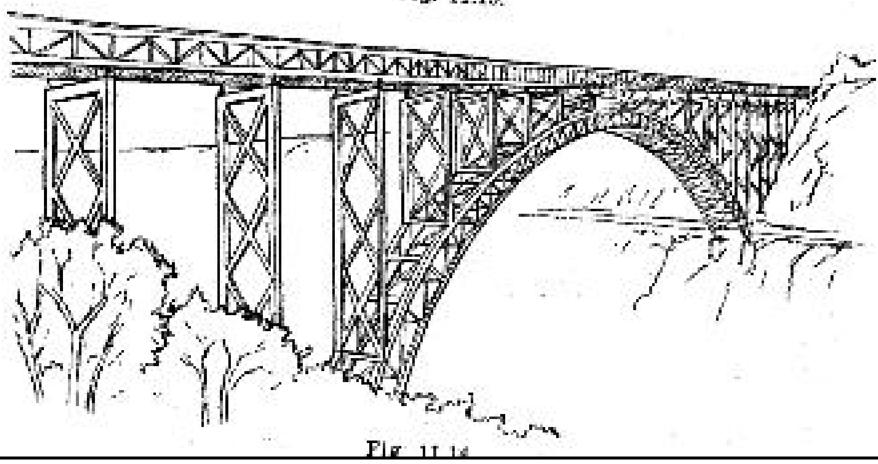


Fig. 11.14

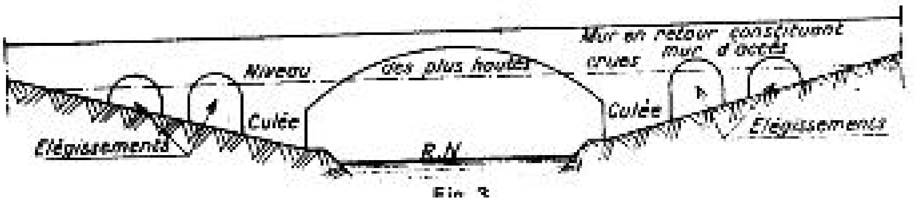
4. Leur importance

   Elle dépend surtout de la longueur de l'ouvrage qui peut varier de quelques mètres à plusieurs milles de mètres et aussi de sa largeur qui varie de 5 m à une quarantaine de mètres. On distingue :

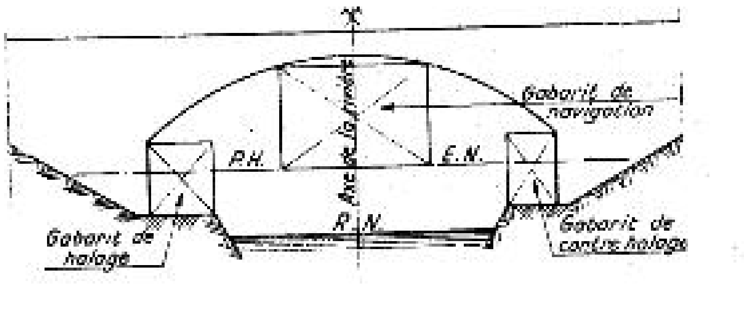
   - Les ponts de faible importance – à qui la longueur varie de 10 à 50 m,
   - Les ponts de moyenne importance – qui varient de 50 à 100 m,
   - Les ponts de grande importance – à qui la portée varie de 100 à 1000 mètres en une ou plusieurs travées.

c) Comment se choisit l'emplacement et les gabarits d'un pont

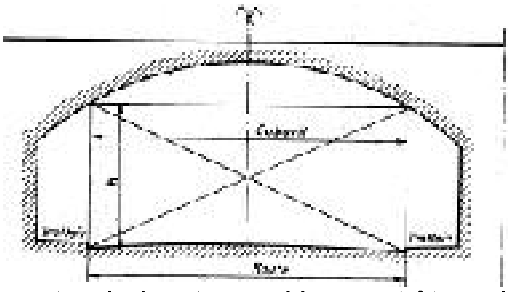
- ➢ En principe le pont doit être à la disposition de la voie de communication qu'il supporte ;
- ➢ Il faut s'efforcer de ne pas modifier le tracé de cette voie et à cet effet on n'hésitera pas à prévoir un pont biais ;
- ➢ On évitera d'implanter le pont dans les parties courbes du cours de l'eau, ou l'action du courant est le plus sensible ;
- ➢ Il faut toujours prévoir un dispositif de défense contre l'action destructive du courant ;
- ➢ La présence d'un pont ne doit pas être un obstacle sensible à l'écoulement des eaux surtout par temps de crue. Pour cela il doit assurer un débouché minimum, qui se calcule pour le niveau de sa plus haute crue, (voir figure) :



- ➢ Si le pont franchit une rivière navigable, il doit respecter les gabarits nécessaires pour la navigation, (voir figure) :

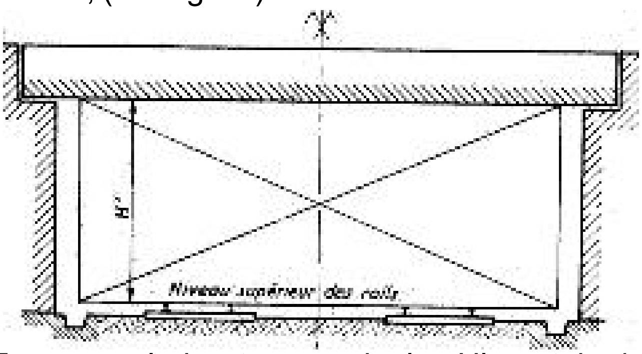


- ➢ Si le pont franchit une route, il doit satisfaire les gabarits nécessaires pour la circulation des véhicules qui empruntent ces voies :



Pour les routes la hauteur «H » peut être : 4.30 ; 4.50 ou 4.75 m

- En ce qui concerne les voies ferrées, la largeur de la plateforme dépend du nombre des voies, (voir figure) :

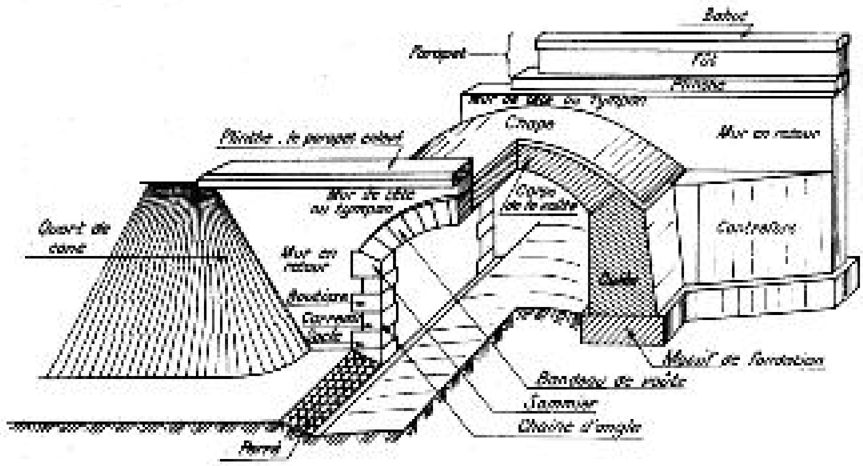


En ce cas, la hauteur nominale «H'» est de 4.80 m pour traction Diesel et de 5.30 m pour traction électrique.

- En ce qui concerne le sol de fondation, quand il est suffisamment résistant on peut adopter les poutres en arc ou suspendues, ou contraire, quand il est faible on adopte les poutres droites. .

d) Les ponts en maçonnerie

Comme la maçonnerie étant une matière qui ne travaille à l'extension, les ponts en maçonnerie présentent toujours la forme d'une voûte, seule forme qui permette de satisfaire à cette condition. La voûte comporte toujours un plan vertical de symétrie transversale et presque toujours et un plan de symétrie longitudinale. Les parties composantes d'un pont en maçonnerie sont représentées (voir figure) :



En arrière de la culée, des murs dits en retour sont destinés à retenir les terres de remblai. La longueur de ces murs dépend de leur hauteur extérieure. Si les terres de remblai doivent être retenues en bordure de l'obstacle franchi par le pont, les murs en retour sont remplacés par des murs en aile, qui peuvent être suivant les cas : droits, obliques ou courbes :

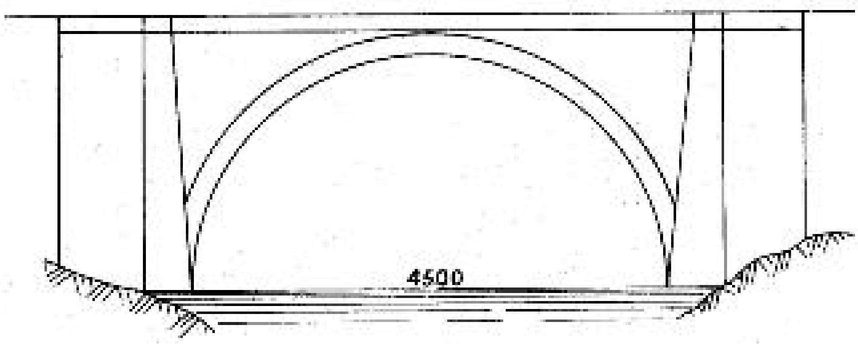
Les culées ainsi que les murs en retour ou en aile reposent sur des massifs de fondation.

Pour vérifier les ponts en maçonnerie, les calculs analytiques et graphiques consiste :

- A s'assurer que la résultante générale de toutes forces qui peuvent agir sur chaque section de la maçonnerie passe à l'intérieur du tiers central de la section, condition indispensable pour que la maçonnerie ne soit pas sollicitée par des efforts d'extension.
- A vérifier que la contrainte unitaire de compression subie par la maçonnerie ne dépasse pas le maximum imposé par la sécurité.

On peut présenter quelques ponts en maçonnerie :

- Le pont de Vieille Brioude sur l'Allier est constitué par une arche unique en plein cintre de 45 m d'ouverture :



- La figure ci dessous représente le viaduc de la Crueize qui comporte six arches en plein centre de 25 m d'ouverture chacune, et une hauteur de 63 m en son milieu :

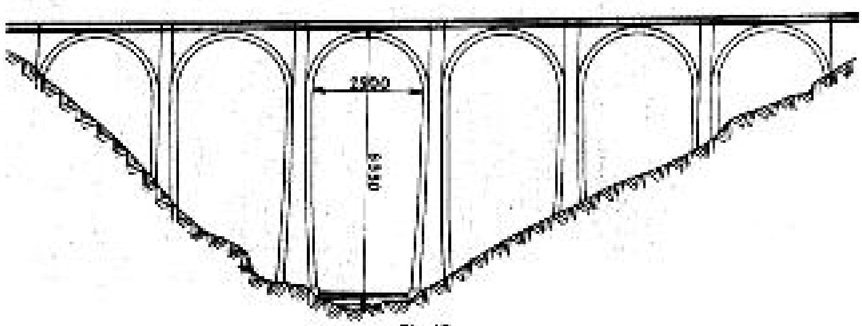
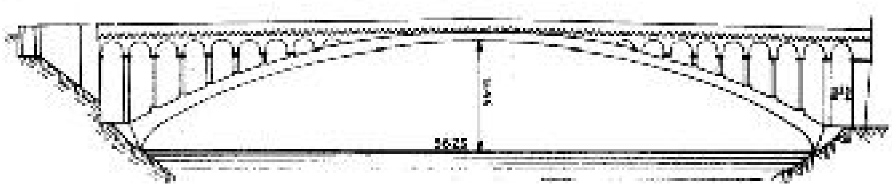


Fig. 16

- Le pont de Villeneuve-sur-Lot est un ouvrage remarquable par son ouverture de 96.25 m, sa légèreté et la beauté de sa ligne surbaissée 1/6 :



e) **Les ponts en béton armé**

Par suite des insuffisances mécaniques du béton, on a été conduit à introduire dans celui-ci des éléments d'acier destinés à absorber les efforts que le béton n'est pas capables de supporter.

Pour armer le béton on utilise l'acier sous forme de barres rondes parce que la section circulaire a l'avantage de ne pas présenter d'angles susceptibles d'amorcer la fissuration du béton. Les armatures utilisées se présentent ainsi :

- <u>Des barres lisses</u> – qui sont des barres cylindriques dont le diamètre peut varier de 5 à 40 mm, en suivants trois nuances :
  - Fe E_{22} de limite élastique = 2160 bars ;
  - Fe E_{24} de limite élastique = 2350 bars ;
  - Fe E_{34} de limite élastique = 3340 bars ;

- <u>Des barres à haute adhérence</u> – qui sont des barres cylindriques présentant des nervures hélicoïdales ou longitudinales. L'acier utilisé est un acier dur soit naturellement, soit par écrouissage correspondant à l'une des trois nuances suivantes :
  - Fe E_{40} A et B, avec limite élastique de = 4120 et 3920 bars ;
  - Fe E_{45} de limite élastique = 4410 bars ;
  - Fe E_{50} de limite élastique = 4900 bars ;

- <u>Treillis soudé</u> – qui sont constitués de grillage en fils écroui se croisant perpendiculairement soudés électriquement en leurs points de croisement.

❖ Les coffrages pour les points en béton armé doivent être exécutés avec beaucoup de soin, et doivent respecter les règles suivantes :

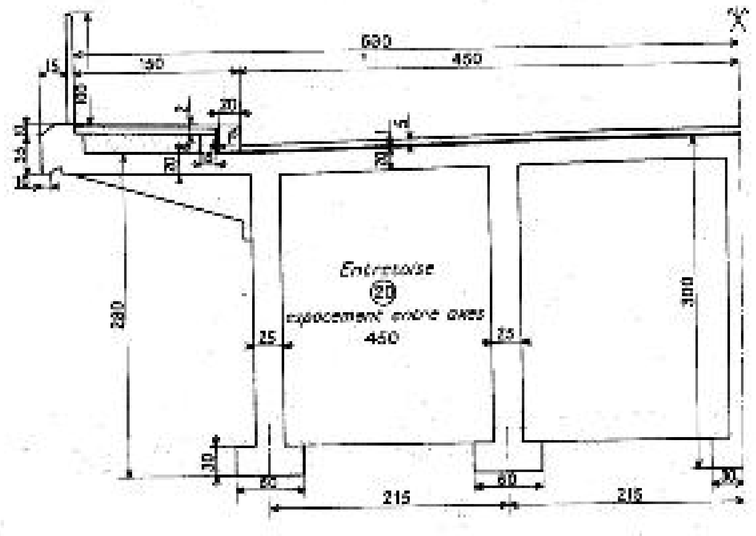
- Les dimensions intérieures du coffrage doivent présenter exactement les dimensions extérieures de l'ossature à réaliser ;
- Les parements intérieurs des coffrages doivent être lisses et sans défauts ;
- Les joints doivent être étanches,
- Les coffrages seront réaliser soit en bois (contreplaqué de qualité) soit en métal.

❖ Le coulage de béton s'exécute sans interruption quand cela est possible. Au contraire, les emplacements des arrêts doivent être choisis avec discernement et les reprises faites avec beaucoup de soin.

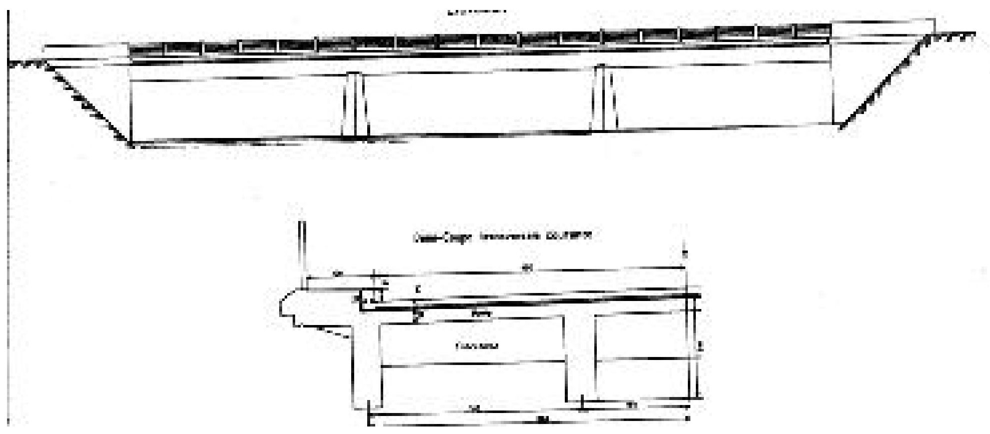
❖ La compacité du béton est augmentée, lors du coulage, en pervibrant le béton et en vibrant les coffrages.

- <u>Ponts en béton armé en poutres droites</u>

Si le pont est large, les poutres sont réparties sous la voie de communication portée, on a un pont à poutres multiples. Les parties d'un pont en ce cas sont exemplifié en figure n° 79 :

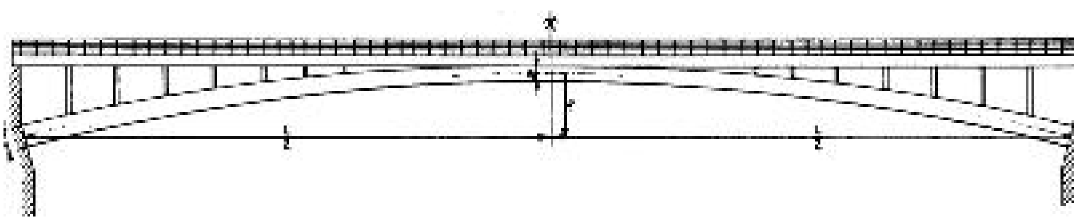


Dans la figure suivante on peut voir l'élévation d'un tel pont, ainsi que sa demi-coupe transversale courante :



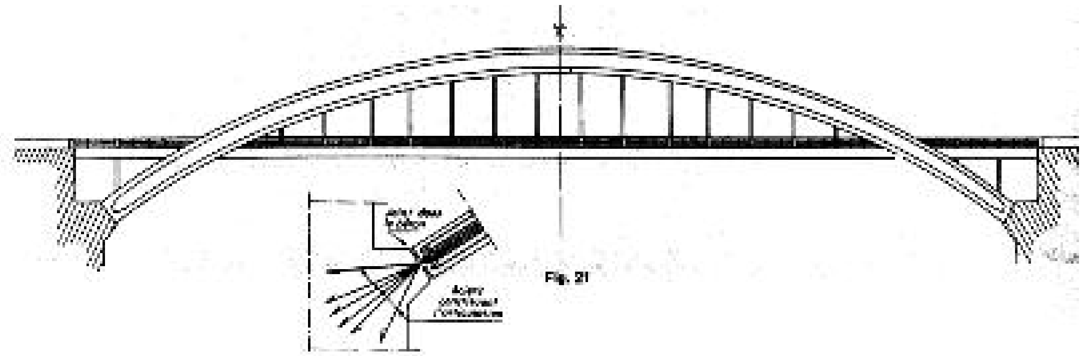
- <u>Ponts à poutres en arc encastré</u>

  Ils sont définis par la forme de la courbe de l'arc et son surbaissement qui est généralement compris entre 1/10 et 1/16. La courbe peut être soit un arc de parabole, soit une courbe dont la forme se rapproche de la parabole.
  La figure ci dessous montre l'élévation d'un tel point :



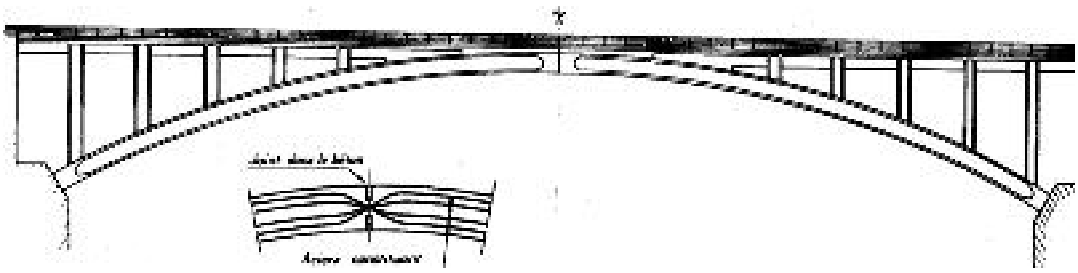
- <u>Ponts à poutres en arc à deux articulations</u>

Ils sont définis par la forme de la courbe de l'arc et par son surbaissement compris entre 1/6 et 1/12. L'épaisseur est généralement constante et égale à L/60, comme en figure n° 82, ou on peut voir et un détail d'une articulation :



- <u>Ponts à poutres en arc à trois articulations</u>

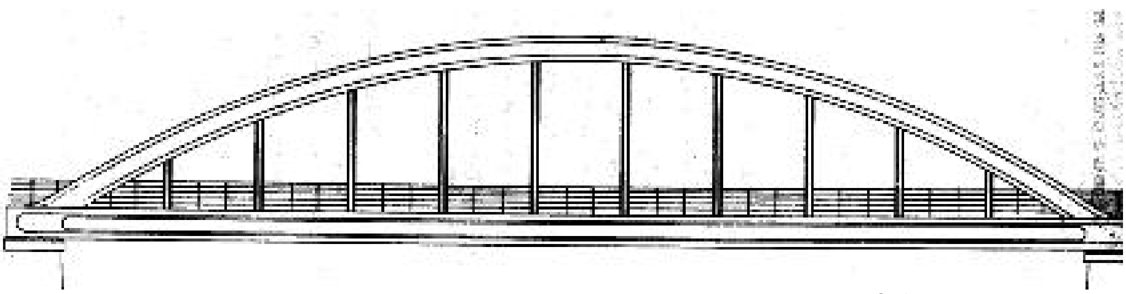
Ils sont définis la forme de la courbe de l'arc et le surbaissement qui peut varier de 1/6 à 1/17. L'épaisseur est égale à L/50, (voir figure) :



- <u>Ponts à poutres «bow-string</u> »

La flèche de ces arcs varie entre L/6 et L/7, à l'épaisseur de L/50.

Les caractéristiques du tirant dépendant à la fois de la portée et de la largeur du pont. L'élévation d'un tel pont (voir figure) :



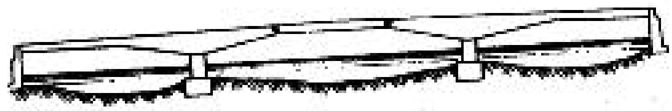
f. 84

- <u>Ponts à poutre « Cantilever »</u>

Les poutres «Cantilever » sont constituées par des éléments appuyés sur des consoles équilibrées ou encastrées. De telles poutres sont fort intéressantes quand on manque de hauteur, leur forme est en outre assez agréable. Dans la figure suivante on peut voir un pont «cantilever » à une seule travée et après ça un pont à trois travées :



Fig. 24



f) Les ponts en béton précontraint

La valeur du procédé tient au fait qu'il utilise au mieux les propriétés mécaniques du béton et de l'acier. En effet, selon ce procédé on fait travailler le béton uniquement à la compression et l'acier à l'extension.

La méthode consiste à soumettre les éléments de la construction à des efforts permanents de compression par une «précontrainte » d'une intensité suffisante pour annuler tous les efforts des tractions provoquées par les forces extérieures et le poids des éléments.

La précontrainte est généralement réalisée par des câbles en acier à haute résistance tendus par des vérins prenant appui sur les deux extrémités de l'élément, l'opération étant effectuée dés que le béton a atteint un dégrées de durcissement suffisant.

Si l'opération a été bien conduite et l'effort de précontraint bien calculé, lorsque la poutre sera en service, les efforts provoqués par les charges et les surcharges annuleront la contre flèche et il restera plus que des efforts de compression dans le béton. Par contre, le câble de précontrainte restera soumis à un effort d'extension élevé.

❖ Les phases pratiques de l'opération de précontrainte sont les suivantes :
- La mise en tension est progressive et lorsque la totalité de l'effort calculé est appliqué au câble, celui-ci est calé sur le béton par ancrage ;
- Après ça on injecte sous pression du mortier de ciment dans la gaine pour assurer la protection du câble contre la corrosion ;

❖ Les armatures de précontrainte sont constituées par :
- une couche circulaire de fils rond ;
- plusieurs couches circulaires de fils rondes ;
- plusieurs couches horizontales de fils ovales nervurés ;
- En torons qui sont constituées d'un petit fil central autour duquel

s'enroulent des couches périphériques de petits-fils ; etc.

❖ Exemples des ponts en béton précontraint :

- la figure 86 représente la coupe transversale d'un pont à poutres préfabriquées, type de pont généralement adopté pour les ouvrages à travées indépendantes de faible portée :

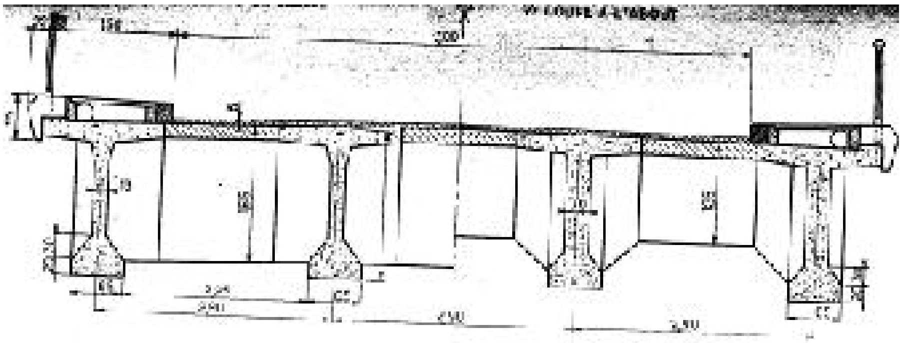


Fig. 3

- un pont de ce type, à trois travées indépendantes (voir figure suivante):

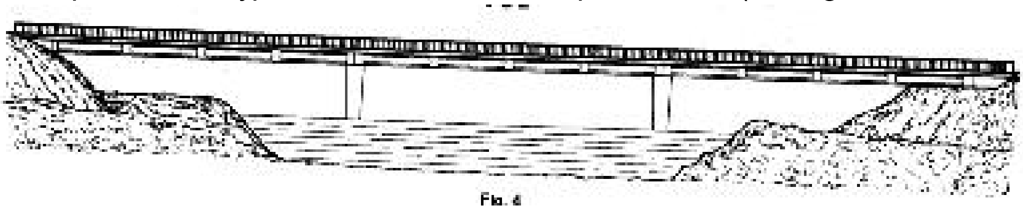


Fig. 4

- la figure suivante représente la coupe transversale d'un pont dalle, qui est généralement adopté pour les ouvrages de moyenne portée. Dans le premier cas il y a une dalle constante de l'ordre L/25 ; et dans le deuxième cas est une dalle comportant trois élégissements – qui sont des vides circulaires en tablier :

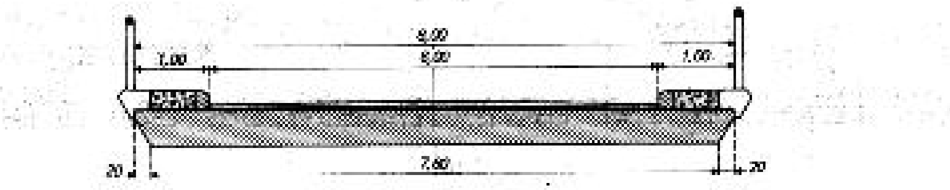


Fig. 5

COUPE TRANSVERSALE D'UN PONT-DALLE AVEC ÉLÉGISSEMENTS CIRCULAIRES

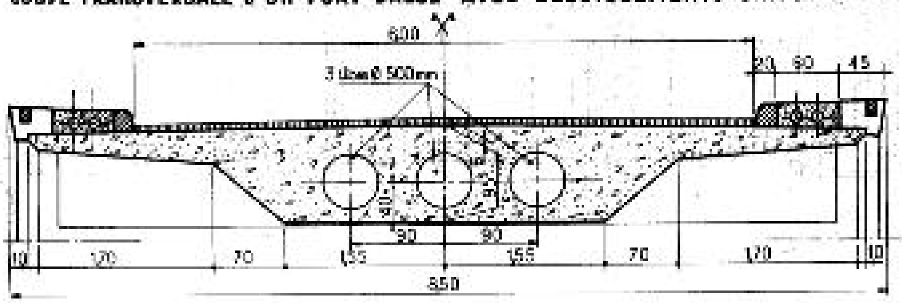


Fig. 6

- pour le franchissement de routes nationales ou d'autoroutes, on utilise couramment des poutre à béquilles, comme en figure suivante, ou le tablier est du type caisson:

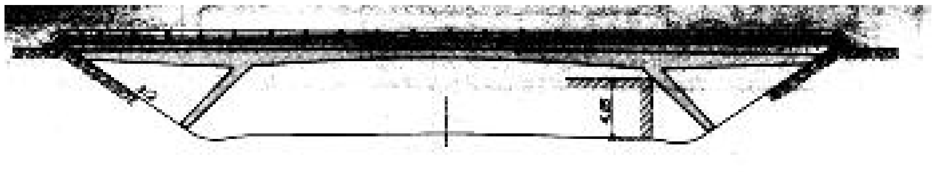
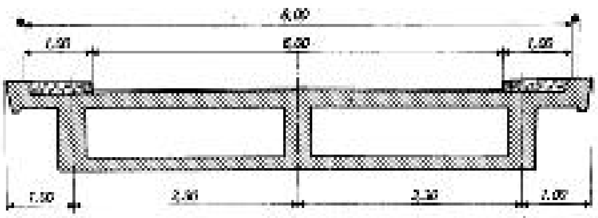


Fig. 7



- Pour les grandes portées on utilise des ponts cadres, qui sont des ouvrages tout à fois légers et résistants, (voir figure) . Dans ce cas la coupe transversale est en fait constituée par deux ouvrages distincts reliés au milieu par une dalle reposant sur ces ouvrages :

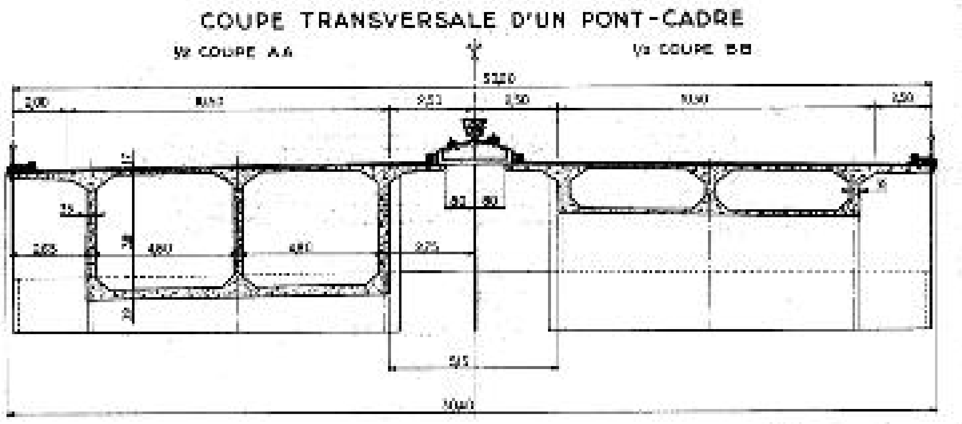


Fig. 9

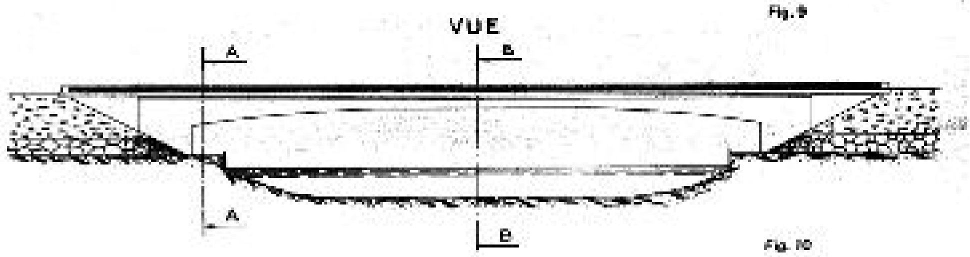


Fig. 10

g) Les ponts métalliques

Les aciers utilisés pour les constructions sont des composés Fer-Carbone qui contiennent généralement de 0.1% à 0.2% de Carbone. Ces aciers ont des propriétés mécaniques remarquables qui sont mises en lumière par l'essai de traction poussé jusqu'à la rupture.

❖ Les procédés d'assemblage de l'acier :

- Le boulonnage – le boulon comporte une tête fixe provenant de la forge avec sa tige qui est filetée, et une deuxième tête mobile, appelée écrou, qui est vissée sur la partie filetée de la tige. Les boulons sont posés à froid et servent surtout à réaliser des assemblages provisoires. On utilise aussi des boulons à haute résistance, qui peuvent supporter des efforts de traction.
- Le rivetage – le rivet comporte une tête provenant de forge avec sa tige et la deuxième tête est réalisée par forgeage de l'extrémité de la tige qui dépasse à cet effet les éléments à assembler. A cet effet les rivets sont posés à chaud. Le rivetage est un bon procédé d'assemblage mais il présente l'inconvénient de nécessiter le percement des pièces à assembler et par conséquent de réduire leur section utile.
- La soudure – assure l'assemblage par reconstitution de l'acier dans les joints ou dans les plans de contact des éléments à

assembler. Le soudage s'exécute en général à l'aide de baguettes ou de fils d'acier enrobés appelés «électrodes » qui fondent sous la température extrêmement élevée de l'arc électrique. La soudage se substitue progressivement au rivetage car il n'affaiblit pas la section utile des pièces à assembler et il permet de réaliser sans difficultés des assemblages compliqués.

❖ Les poutres métalliques sont :

- à âme pleine – constituées par un plat vertical appelé âme et des plats horizontaux appelés semelles, disposés à la partie supérieure et à la partie inférieure de l'âme et fixées sur celle-ci soit à l'aide de cornières si la poutre est rivée, soit par des cordons de soudure d'angle si la poutre est soudée.
- A treillis – appelées également poutres triangulées, sont constituées par des membrures reliées non plus une âme mais par des barres, ou verticales, ou inclinées, qui forment avec les membrures un ensemble triangulé. Ces barres sont disposées d'une façon différente suivant-le système de triangulation adopté. Les plus connus systèmes des poutres triangulées sont :
- le système Howe
- le système Pratt
- le système Warren – (voir figure) :

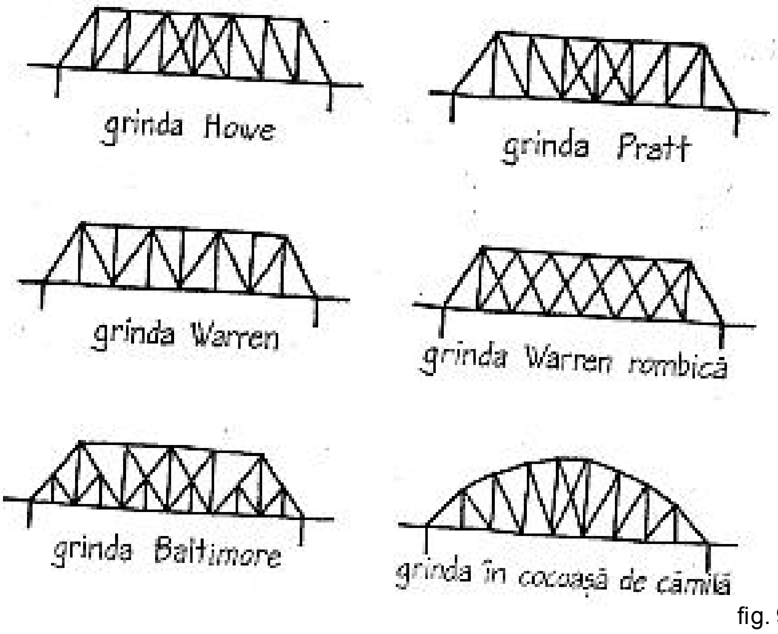
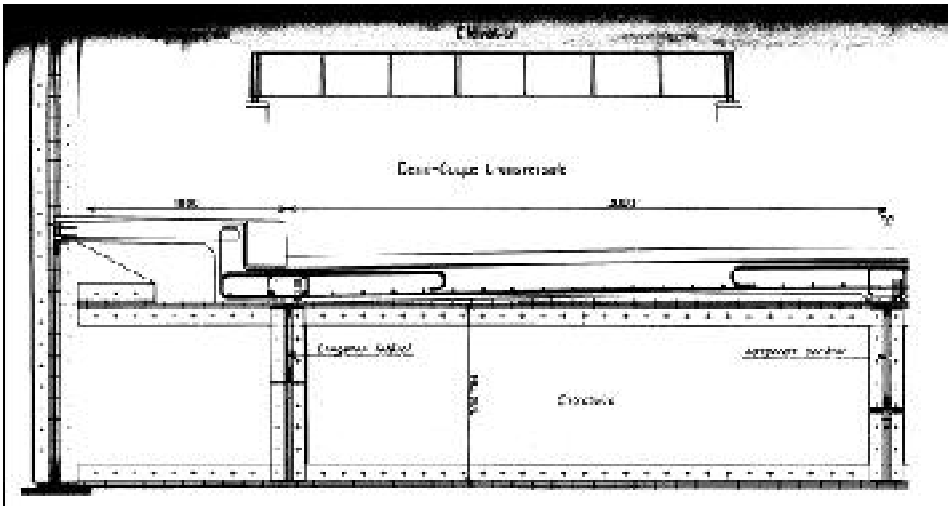
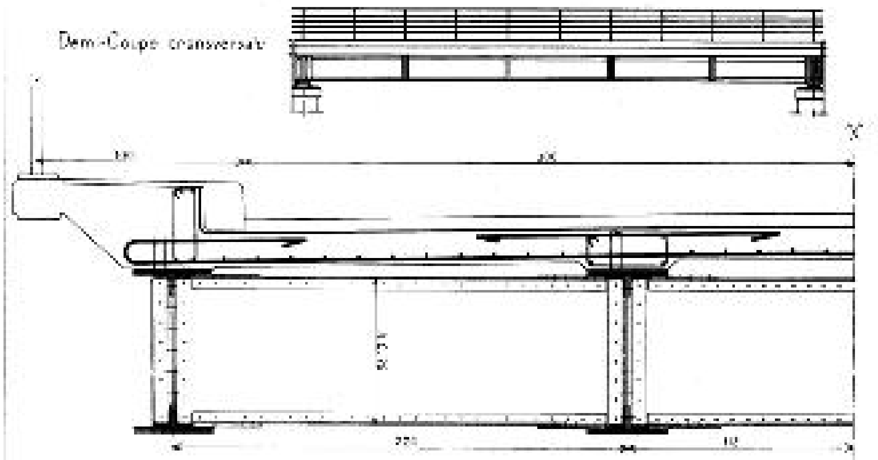


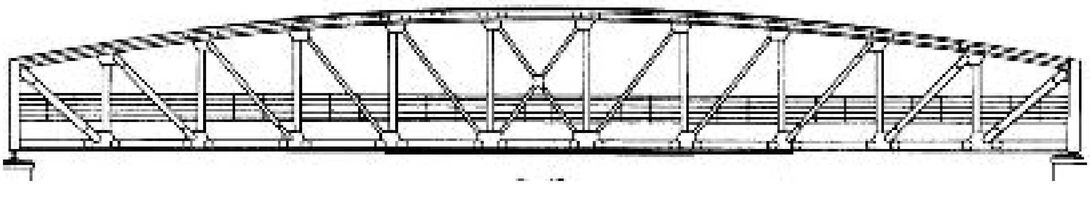
fig. 91

❖ Description des ponts métalliques :

- ponts à poutres droites, (voir figure)) ; qui ne comporte que deux poutres principales latérales,
- avec quatre poutres principales réparties (voir figure) ,
- Avec poutres droites triangulées de hauteur variable. La hauteur de ces poutres maximum au milieu de la portée, varie généralement de L/8 à L/10, (voir figure) :

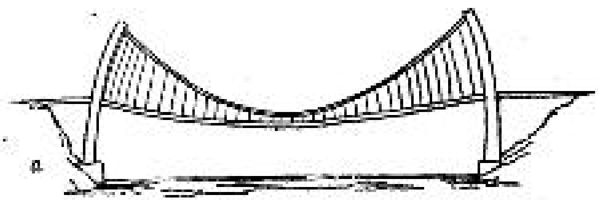






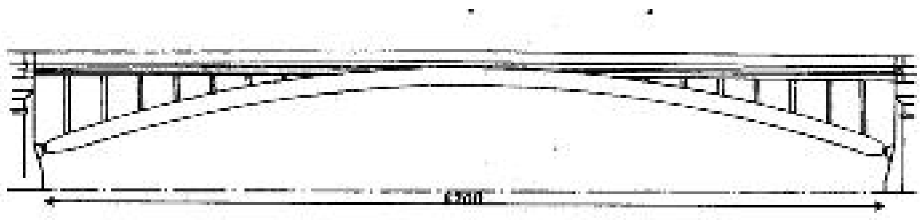
- les ponts suspendus – sont réalisés uniquement en acier et sont utilisés pour le franchissement des très grandes portées, sans appuis intermédiaires. Ils sont essentiellement constitués par une poutre droite

de faible hauteur, soutenue par des suspentes fixées à un gros câble :





- ponts à arc encastré, (fig. n° 96) :



I. 3. B. TUNNELS ET SOUTERRAINS

a) Généralités

❖ Lorsque le tracé d'une voie de communication passe dans une région dont le relief est accidenté, il arrive qu'il soit un peu économique et parfois même pratiquement impossible de continuer cette voie en surface, on la fait alors passer en souterrain. Les souterrains sont également utilisés pour l'établissement de voies ferrées destinées aux transports urbains (la métropole). Les souterrains sont appelés «tunnels ».

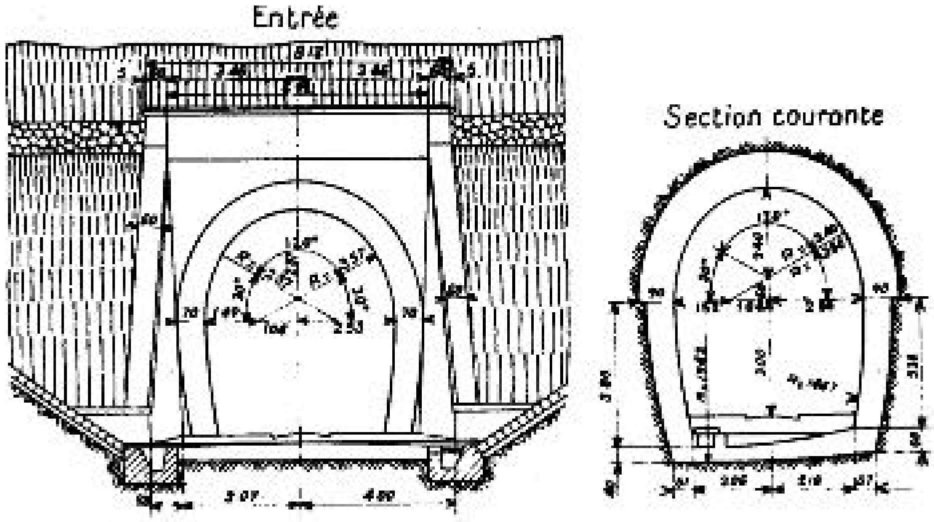
❖ La forme et les caractéristiques d'un souterrain dépendent :
- de la nature de la voie de communication,
- de l'importance de cette voie,
- de la nature du sol traversé, etc.

❖ Selon la destination de ses usagers on peut trouver :
1. Souterrains destinés au passage de voies ferrées,
2. Souterrains destinés pour voies ferrées destinées aux transports urbains,
3. Souterrains destinés au passage de routes,

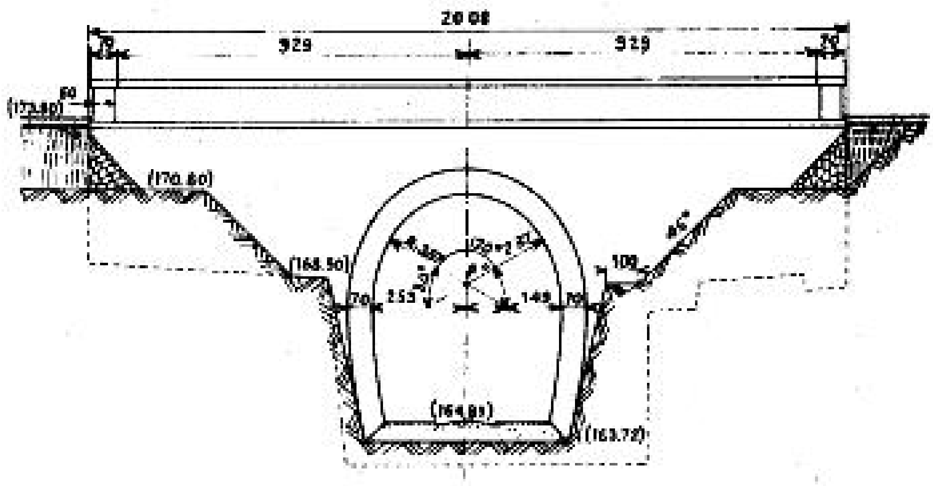
4. Souterrains destinés au passage des canaux.

b) Souterrains pour voies ferrées

La figure suivante représente l'entrée et la section courante d'un souterrain pour voie ferrée unique, avec des murs en aile légèrement évasée :

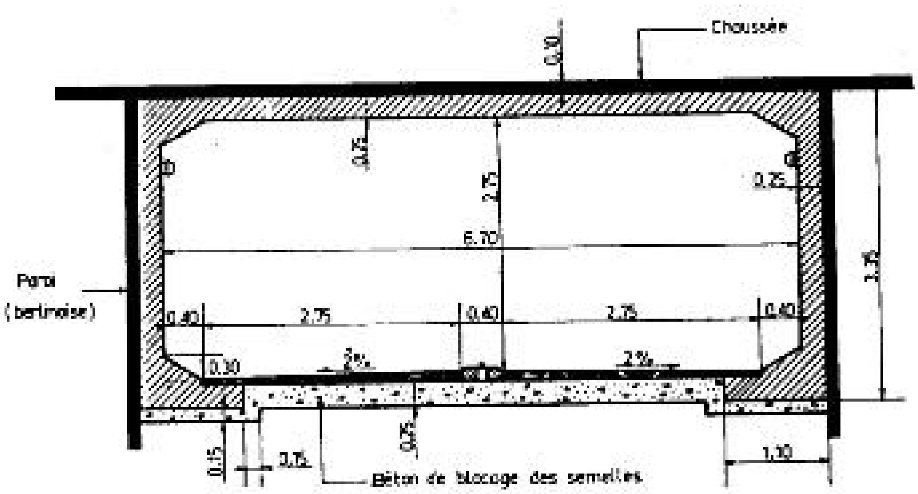


Si au voisinage immédiat de l'entrée du tunnel les talus sont rocheux et par conséquent ont une bonne cohésion, la tête du tunnel comporte des murs en retour comme en figure n° 98 :



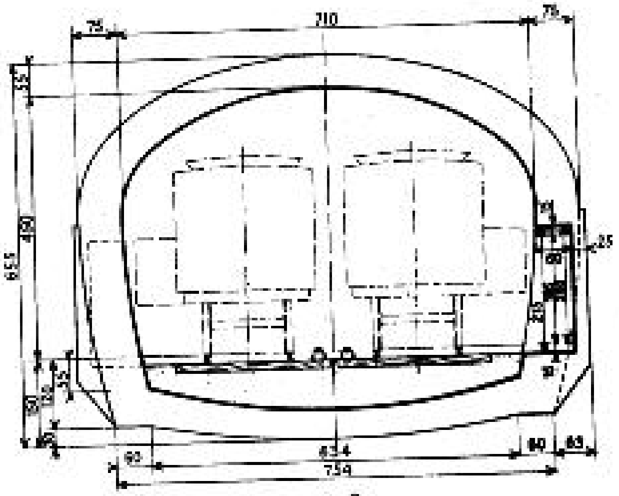
c) Souterrains destinés au passage de routes

La figure suivante représente la section courante d'un souterrain donnant passage à une route de 2 voies de 2.75 m de largeur au droit d'un carrefour urbain – c'est à dire passage à gabarit réduit avec H = 2.75

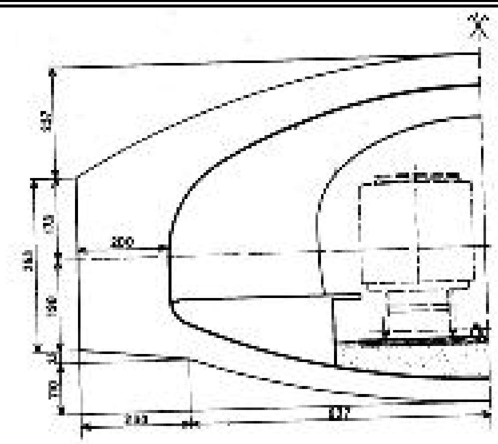


d) Souterrains destinés pour voies ferrées aux transports urbains

La figure suivante donne la section courante d'un souterrain établi pour passage à une ligne du Chemin de Fer Métropolitain de Paris :

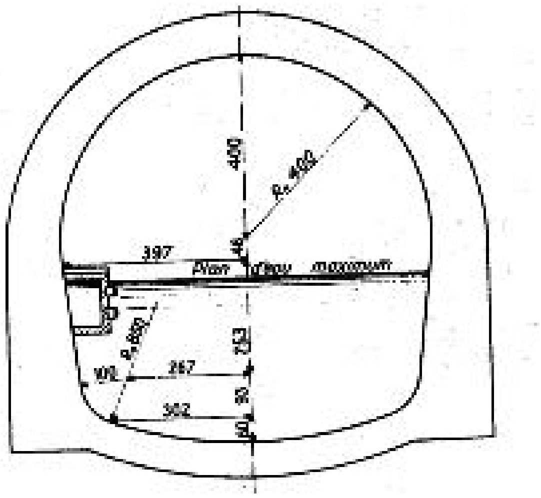


Dans la figure suivante on remarquera la forme très aplatie du souterrain dans une station :

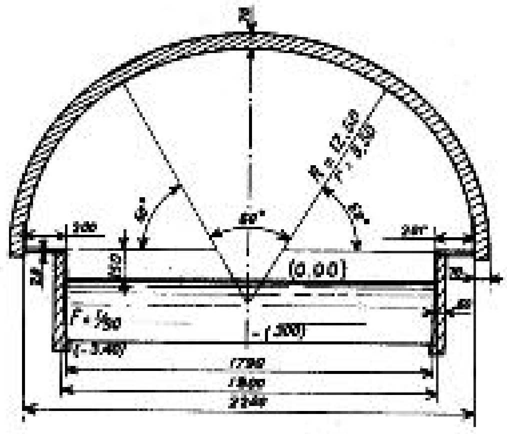


e) Souterrains destinés au passage des canaux

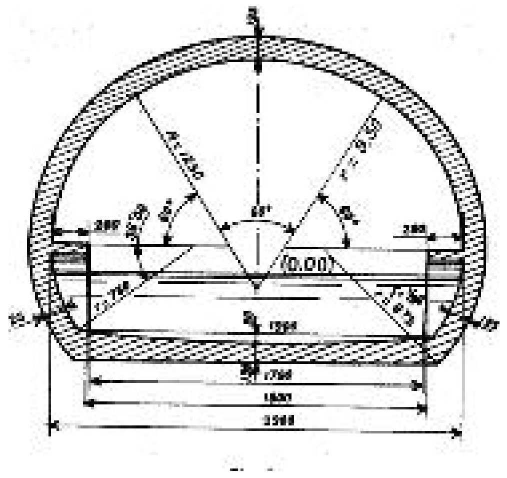
La section courante d'un souterrain pour canal est figurée comme suit :



On remarquera la plate-forme de halage située sur la gauche. On peut exemplifier avec sections des grandes dimensions comme celui du Rove :



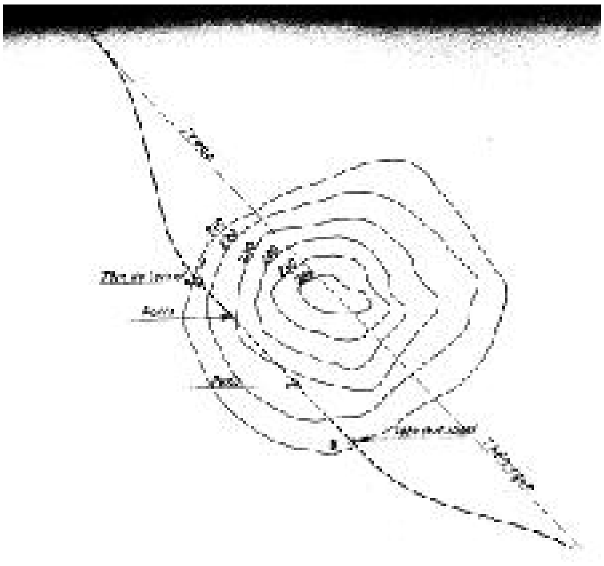
ou au passage au canal de Marseille au Rhône :

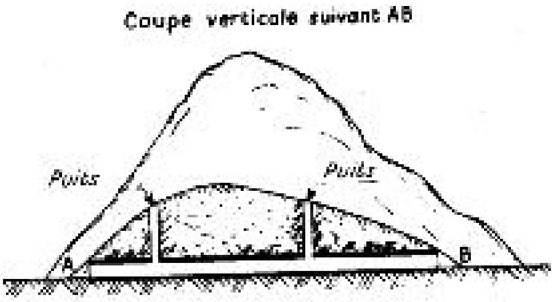


f) Principes directeurs pour l'étude d'un souterrain

La direction générale du tracé en plan ainsi que le profil en long sont donnés par le projet d'ensemble de la voie de communication à réaliser, mais ici on peut se permettre de modifier l'une et l'autre dans le but de faciliter la construction et l'entretien du souterrain.

On s'efforcera de prévoir un tracé et un profil en long qui permette la construction du souterrain facile à traverser et en dehors de la présence de l'eau :





On choisira de préférence un tracé qui permettre la construction à partir des deux têtes, mais également de points intermédiaires du tracé par forage de puits.

Quand le souterrain est très longue (le Tunnel du Mont Blanc par exemple) il faut obligatoirement prévoir des dispositifs de ventilation pour remplacer l'air usé.

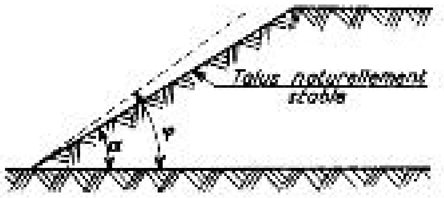
I. 3. C. LES MURS DE SOUTENEMENT

a) Généralités

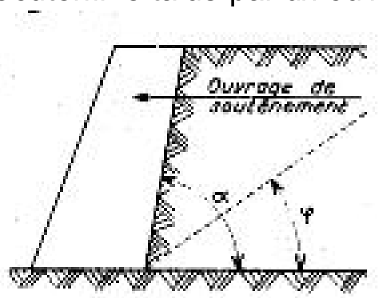
- La terre sèche est une matière pulvérulente et déposée en tas, sur une aire horizontale, elle se présente toujours sous la forme d'un cône qui est plus ou moins aplati suivant la nature de la terre. En ce cas on appelle l'angle « φ » du cône (voir figure) , l'angle du talus naturel de la terre. Il en résulte que lorsqu'on doit exécuter des terrassements on sait à priori que si rien ne s'y oppose, les talus qui se constitueront dans las régions dénivelées prendront naturellement la pente correspondant à l'angle « φ ».
- La connaissance de l'angle du talus naturel est donnée expérimentale précieuse, car pour travail de terrassement elle permet d'apprécier à

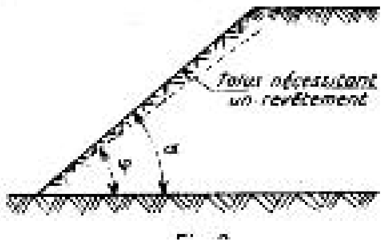
l'avance, d'une part l'importance du volume de terre à déplacer, d'autre part les ouvrages qui seront éventuellement nécessaire pour stabiliser les talus.

- ❖ En effet, si le talus qu'on entend réaliser doit faire avec l'horizontale un angle « α » qui est inférieure ou égal à l'angle « φ », aucun précaution particulière ne devra être prise pour stabiliser ce talus :



- ❖ Au contraire, si l'angle « α » est supérieur à l'angle « φ », il y aura lieu de soutenir le talus par un ouvrage :





- ❖ Il va de soi que plus d'angle « α » est grand, plus il est nécessaire d'augmenter l'importance du dispositif de soutènement du talus. C'est ainsi que lorsque l'angle « α » n'est que très faiblement supérieur à l'angle « φ », on peut généralement se contenter soit d'augmenter simplement la cohésion de la terre située au voisinage de la surface du talus, soit de retenir la terre en revêtant le talus d'une couche mince de pierres ou de maçonnerie, et en ce cas on dit qu'on réalise un revêtement :
- ❖ Par contre, si l'angle « α » est nettement supérieur à l'angle « φ », le procédé du revêtement n'est pas suffisant, il faut recourir à un ouvrage capable de s'opposer en force au glissement de la terre tendant à prendre son talus naturel. En ce cas on dit qu'on réalise un soutènement qui s'oppose à la poussée de la terre – c'est à dire un mur de soutènement.

b) Les revêtements

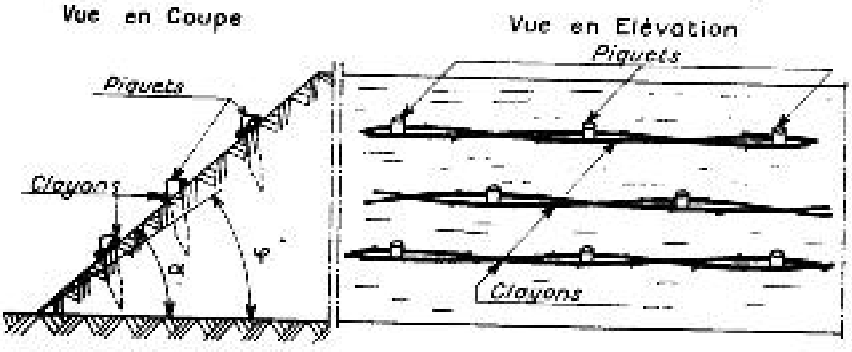
D'après leur nature, les revêtements peuvent être **naturels ou artificiels.**

1. <u>Les revêtements naturels</u> – sont constitués par des plantes, dont les racines retiennent la terre située au voisinage immédiat de la surface du talus, donnant ainsi à terre une grande cohésion.

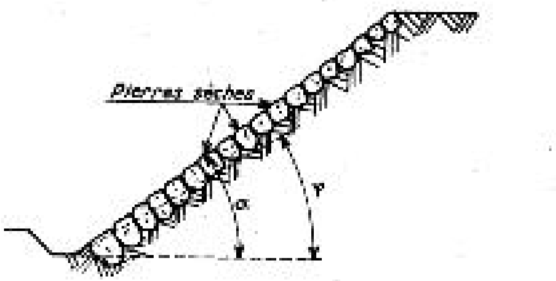
L'avantage de tels revêtements sont que leur réalisation est peu coûteuse

et leur entretien est pratiquement nul.

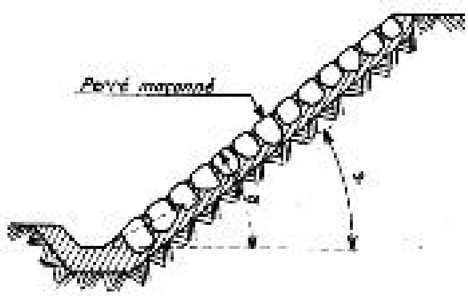
Le désavantage du cette méthode est que son efficacité commence après un délai nécessaire pour que les plantes forment ses racines. Une l'autre méthode de revêtement naturel est à l'aide de clayonnages, qui sont des piquets de bois et des branches ou clayons :



2. Les revêtements artificiels – sont constitués par des blocs de pierre, plus ou moins équarris, disposés au contact uns des autres, sur la surface du talus. En ce cas, le poids des pierres s'oppose au glissement de la terre et stabilise ainsi le talus. De tels revêtements prennent le nom de perrés :



Si les pierres sont posées à bain de mortier et en quelque sorte maçonnée, on dit que le perré est maçonné :



Les dimensions des pierres utilisées pour la réalisation des perrés dépendant de la hauteur et de l'inclinaison des talus qu'elles stabilisent, ces dimensions augmentant évidemment avec l'importance du perré. L'épaisseur ne descend généralement pas au-dessous de 0.20 m pour les perrés de très

faible importance et elle dépasse rarement 0.50 m pour les grandes perrés.

L'eau est l'ennemie des perrés, aussi faut-il s'efforcer de faciliter au maximum l'évacuation de celle qui peut éventuellement imprégner la terre du talus. Les pierres sèches ne posent, à ce point de vue aucun problème, l'eau trouvant facilement son passage dans les interstices des pierres. Par contre, les perrés maçonnés s'opposeraient dangereusement à l'évacuation de l'eau si on ne prévoyait pas des ouvertures, appelées **barbacanes** pratiquées dans la maçonnerie à la base du perré :

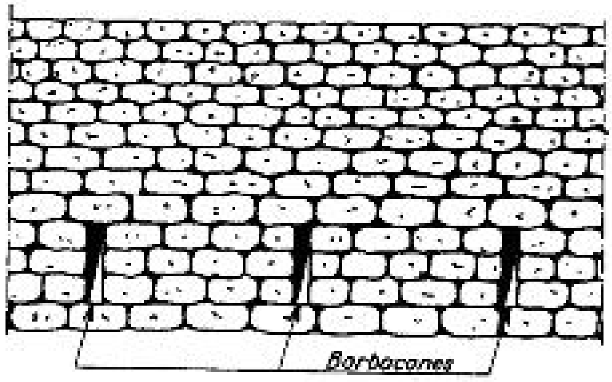
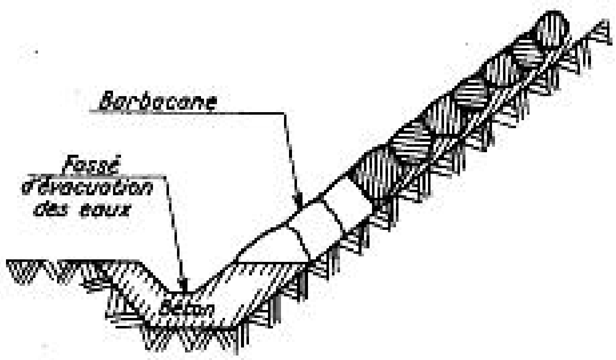


Fig. 4

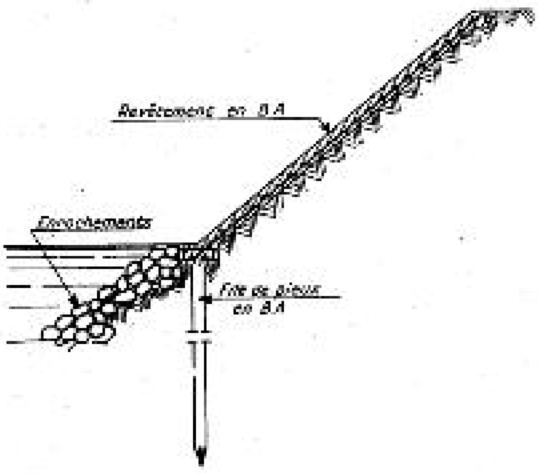


Une fosse maçonnée doit toujours être prévue à sa base pour recevoir et évacuer les eaux.

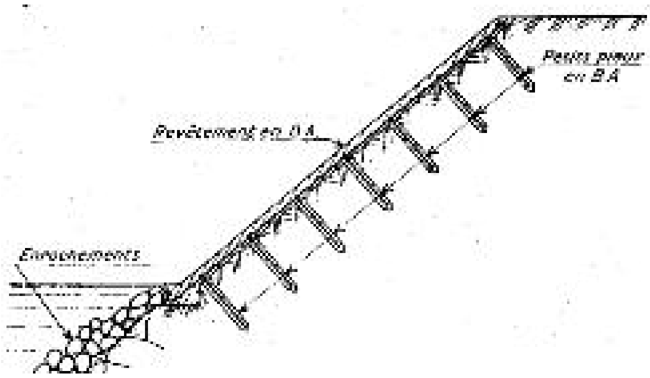
3. Les revêtements en béton armé

L'emploi du revêtement en béton armé est particulièrement indiqué lorsque la fondation du perré s'avère difficile. Ce revêtement est essentiellement constitué par une dalle mince en béton, armé soit de fers ronds, soit de métal déployé.

Dans la figure suivante, est représenté le revêtement d'un talus de berge de rivière et on remarquera que les pieux sont ici placés, en file, à la base du revêtement et qu'ils sont protégés contre les affouillements de l'eau par des enrochements.

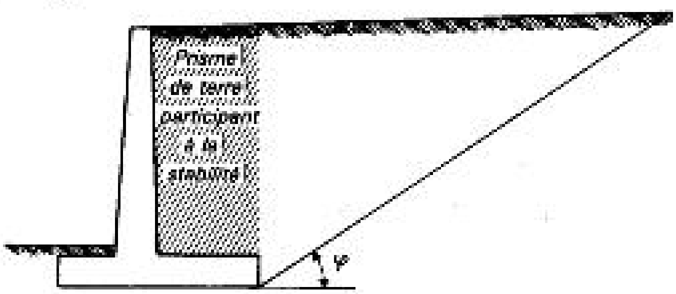


Dans la figure suivante est représentée un revêtement système Möller :



c) Les murs de soutènement

❖ Pour réaliser des talus à très forte pente et a fortiori pour tenir des terres à la verticale, on est obligé de recourir aux mûrs de soutènement. Ces murs sont exécutés en béton armé car ils sont légers et économiques :

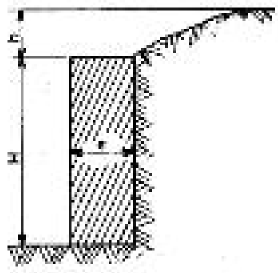


Pour vérifier la stabilité d'un mûr de soutènement il faut déterminer la poussée des terres or cette poussée varie essentiellement avec la nature de celles-ci. Quand il s'agit de remblai il faut choisir avec soin les matériaux utilisés et

éliminer notamment les argiles et les silts.

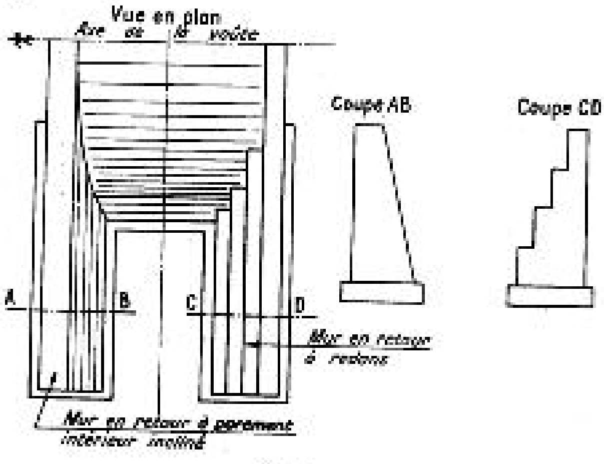
❖ Pour un mur de soutènement d'épaisseur constante, par rapport de la cohésion de la terre on peut avoir :

- si la terre a une bon cohésion ($\varphi = 45°$), l'épaisseur «e » sera :
  $e = 0.235 \times (H + h)$
- si la terre a une cohésion moyenne ($\varphi = 35°$) :
  $e = 0.333 \times (H + h)$
- si h est supérieure à H/2, il sera prudent de prendre :
  $e = 0.5 H$

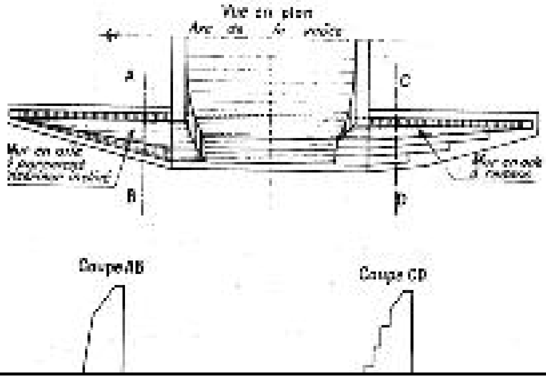


❖ Après leur forme en section courante, les murs de soutènement sont :

- d'épaisseur constante,
- mur incliné d'épaisseur variable,
- mur incliné à parement intérieur droit,
- mur en retour :

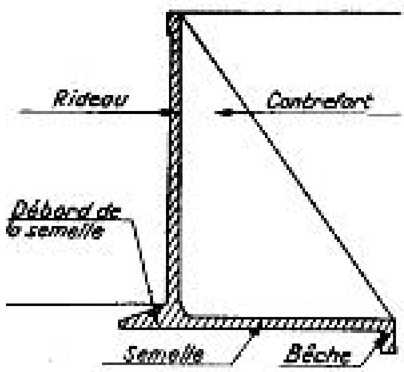


- mur en aile des culées de pont :



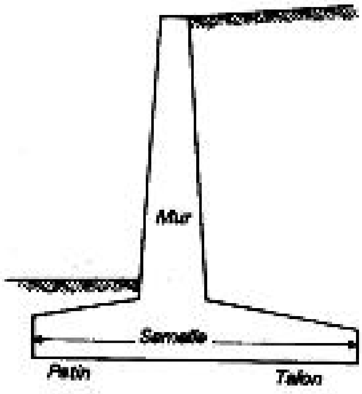
❖ Les parties composantes d'un mur de soutènement en béton armé sont :

- Un voile mince vertical appelé **rideau**, qui retient la terre ;
- Une dalle horizontale relativement mince, appelé **semelle ;**
- Des mûrs verticaux transversaux de faible épaisseur appelés **contreforts ;**
- Une poutre longitudinale appelée **bêche**, généralement placée à l'arrière de la semelle et destinée à raidir celle-ci et à assurer l'ancrage du mûr dans le sol ;
- Un débord de la semelle en avant du rideau, destiné à augmenter la stabilité du mur.

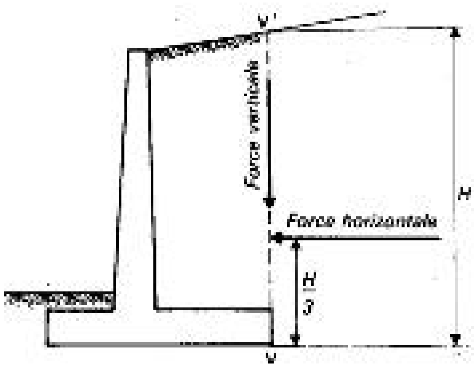


❖ Un mur sans contreforts est essentiellement constitué par :

- un rideau mince d'épaisseur variable,
- une semelle régnant de part et d'autre du mur et dont l'épaisseur est constante. La partie avant semelle s'appelle **patin** et la partie arrière s'appelle **talon :**

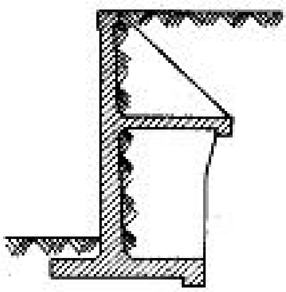


❖ La vérification de la stabilité d'un mur de soutènement en béton armé, se font à partir de la connaissance de la pousse des terres. La force horizontale agit au 1/3 inférieur de la hauteur « H », et alors il suffit de calculer les valeurs du poids du mûr et du poids du prisme de terre reposant sur le talon ainsi que la position des forces représentant ces poids pour être en mesure de vérifier la stabilité du mur et de calculer les efforts agissant dans les différents parties du mur, (Voir figure):



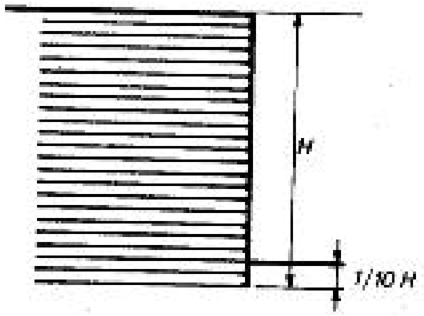
❖ Lorsque les murs de soutènement sont de grande hauteur on utilise des murs à semelles intermédiaires, celle-ci ayant pour buts :

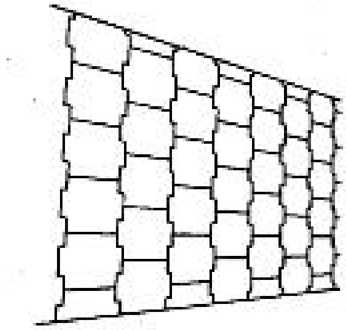
- de réduire la poussée des terres,
- d'augmenter la stabilité de l'ouvrage,



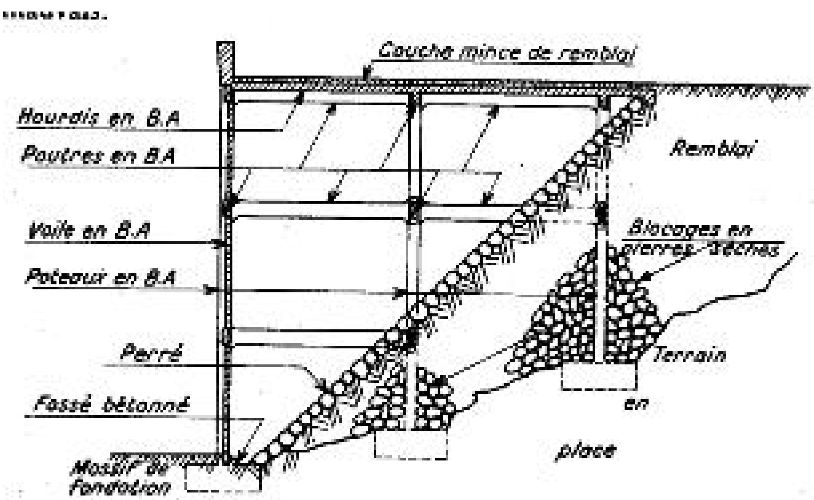
❖ Les murs cellulaires sont un cas particulier et ils sont réalisés à l'aide d'éléments en béton préfabriqué disposés dans la masse des terres à soutenir.

Grâce aux forces de frottement qui se développent au contact de la terre et des éléments de l'ossature légère, la poussée des terres est équilibrée. Ce mûr est constitué par des écailles cruciformes en béton constituant la peau de la face extérieure. Chaque écaille est reliée par boulonnage à 4 tirants de métal. La coupe verticale et une vue partielle de la face extérieure d'un tel mur sont :





❖ Un type très particulier de mur est l'estacade, qui s'utilise lorsque le sol de fondation est médiocre ou mauvais. En fait cet ouvrage n'est pas un véritable mur de soutènement, car il est constitué d'une ossature légère qui comporte des poteaux et des poutres en béton armé supportant la partie supérieure une dalle ou hourdis en béton, et en façade un voile mince, continu, également en béton armé, (Voir figure):



I. 3. C. BARRAGES

a) Généralités

❖ Les barrages sont des ouvrages destinés à retenir les eaux, en vue :
- Soit de régler le débit d'un cours de l'eau – barrages régulateurs,
- Soit de créer une chute d'eau en vue de capter l'énergie de celle-ci – barrages de chute,

❖ A sa place, les barrages régulateurs peuvent être :
- fixes,
- mobiles, des suivantes catégories :
  1. à fermettes,
  2. à hausses,
  3. à tambour,
  4. à pont supérieur,
  5. à élément unique de retenue,

❖ Les barrages de chute après leur emplacement peuvent être :
1. pour vallées larges,
2. pour vallées étroites,

b) Les barrages régulateurs

❖ <u>Les barrages régulateurs fixes –</u> sont constitués par des mûrs disposés en travers du cours d'eau. Quand celui-ci est navigable, le mûr est interrompu à l'une de ses extrémités pour permettre le passage des bateaux, qui se fait :
- soit par un pertuis, dont la fermeture est assurée par des pièces de bois ou par des vannes,
- soit par une écluse, dont la fermeture se fait à l'aide de portes étanches,

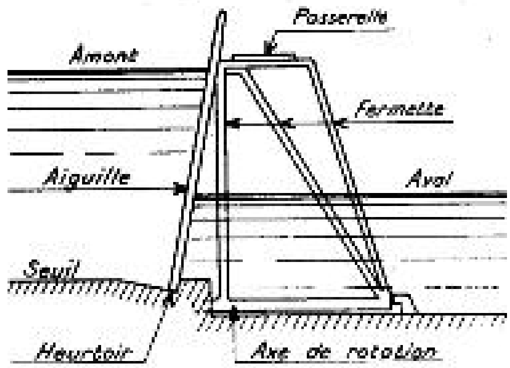
❖ Les deux types de murs généralement adoptés pour de tels barrages(Voir figures), et il faut signaler que le mur avec glacis à l'aval est supérieur à l'autre type de mûr, car il supprime les tourbillons :



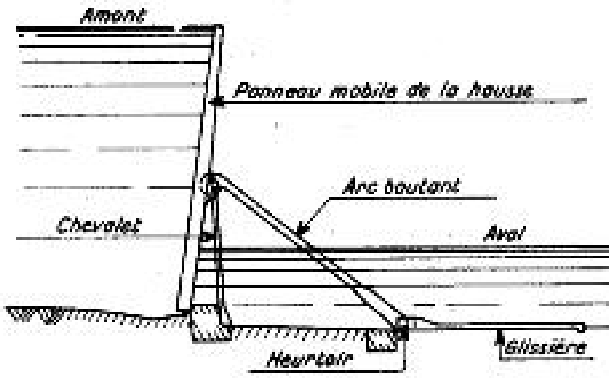
❖ Les barrages mobiles – sont constitués par un écran mobile disposé en travers du cours d'eau, cet écran permettant à volonté de retenir ou de laisser passer l'eau.

1.Barrages à fermettes - ils sont inventés par l'Ingénieur Poirée, sur ce principe : l'écran mobile est soutenu par des fermettes métalliques articulées à leur base, qui peuvent ainsi être rabattues sur le fond du cours d'eau quand l'écran mobile ayant été enlevé, on tient à laisser le passage de l'eau complètement libre. L'écran mobile peut être :

- soit d'un rideau articulé,
- soit d'aiguilles,
- soit des vannes glissantes,
- soit des vannes roulantes,



2. Barrages à hausses – ils sont inventés par l'Ingénieur Thenard et perfectionné par les ingénieurs Chanoine et Pasqueau, sur ce principe : l'écran est constitué par des panneaux mobiles – ou hausses – placés les uns à côté des autres et maintenus dans une position voisine de la verticale par des arcs-boutants prenant appui sur un radier. Les arcs-boutants sont mobiles, leur base peut être dégagée du heurtoir sur lequel ils s'appuient, ils glissent alors sur le radier et la hausse est ainsi rabattue sur le fond du cours d'eau. On peut illustrer ce principe (Voir figure),:



3. Barrages à tambour – ils sont inventés par l'Ingénieur Desfontaines, en voici le principe : l'écran est constitué par des vannes métalliques mobiles autour d'un charnier horizontal ; la partie supérieure de la vanne s'appelle la hausse et sa partie inférieure s'appellent la contre hausse, peut se déplacer dans une cavité en forme de quart de cylindre ménagé dans le radier. La cavité est limitée par des diaphragmes métalliques percés de deux ouvertures, l'une à l'amont et l'autre à l'aval.

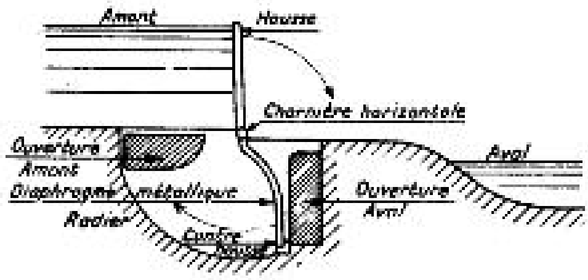
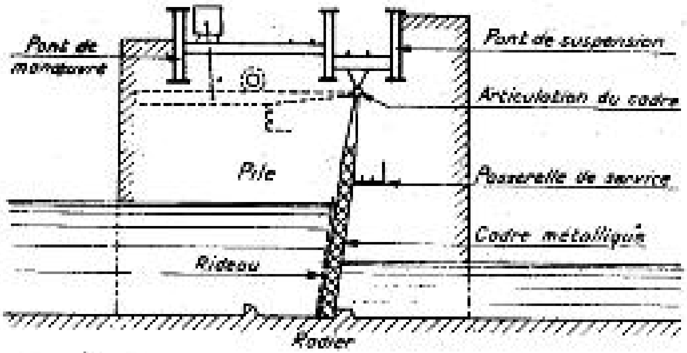
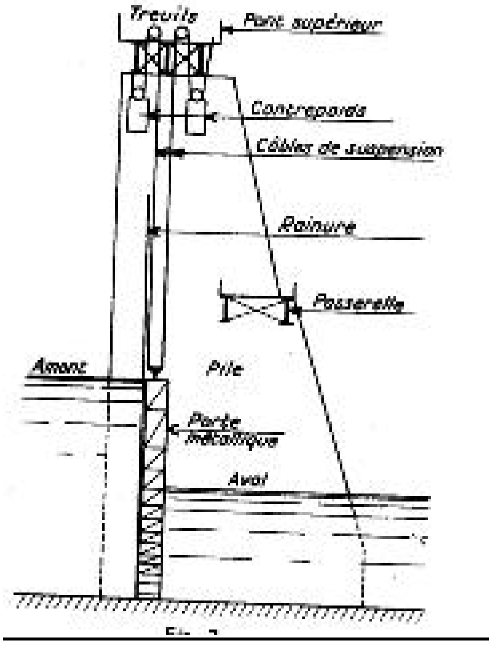


Fig. 5

4. Barrages à pont supérieur – ils sont inventés par l'Ingénieur Caméré sur ce principe : l'écran est constitué par un rideau mobile appliqué sur des cadres métalliques qui sont articulés à leur partie supérieure sur un axe horizontale fixé à un pont de service dit pont de suspension ; les cadres prennent appui à leur base, sur le radier du barrage. Une passerelle de service située sur les cadres mêmes permet de relever le rideau, celui-ci est enroulé sur un treuil.



5. Barrages à élément unique de retenue – dans de tels barrages, dont il existe différents systèmes, l'écran mobile est constitué par un élément unique pour chacune des passes.



En ce cas, grâce à des chemins de roulement placés dans des rainures, la porte peut se déplacer verticalement.

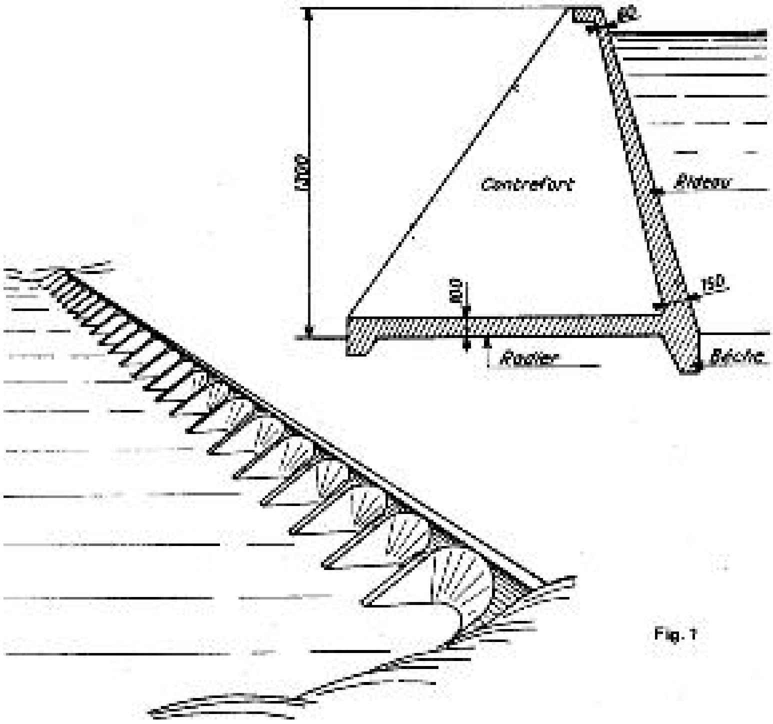
c) Les barrages de chute

❖ Théoriquement un barrage de chute est constitué par un mur de soutènement construit en travers d'une vallée arrosée par un cours d'eau, dans les buts :
- de remonter le plan d'eau à l'amont,
- de constituer ainsi une réserve d'eau aussi grande que possible,
- de réaliser une chute d'eau dont l'énergie captée sera transformée en électricité,

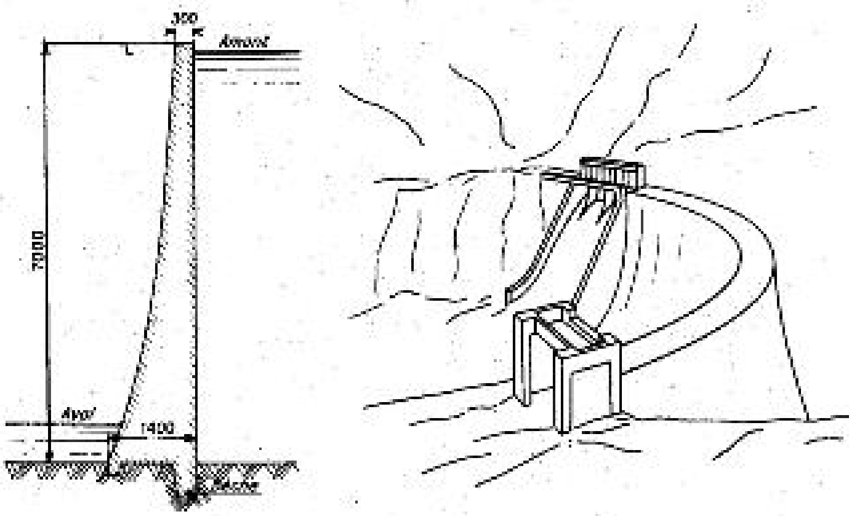
❖ La forme et les caractéristiques d'un barrage de chute dépendent de nombreux facteurs dont les principaux sont :
- la forme de la vallée,
- le régime et l'importance de la masse de l'eau à retenir,
- la composition du sol de fondation, etc.

1. Barrages de chute pour vallées larges – sont ouvrages d'une grande largeur et étant généralement construit sur un sol de fondation de qualité médiocre, on a intérêt à réaliser un mûr aussi léger que possible ; on réduit ainsi la quantité des matériaux à mettre en œuvre ainsi que les pressions unitaires sur le sol de fondation. A effet on adopte le mur à alvéoles et à contreforts réalisés en béton armé. Le

rideau est voûté, des contreforts très larges absorbent la poussée des rideaux et les pressions sont réparties sur le sol par un radier, (Voir figure),:



2. Barrages de chute pour vallées étroites – de tels ouvrages ont généralement une grande hauteur, celle-ci pouvant atteindre dans certains cas une centaine de mètres et aussi sont-ils soumis à des pressions énormes. La longueur de l'ouvrage étant relativement faible, on construit celle-ci en courbe :



De tels ouvrages ne peuvent être réalisés que si les roches constituant le fond et les parois de la vallée sont résistances et homogènes.

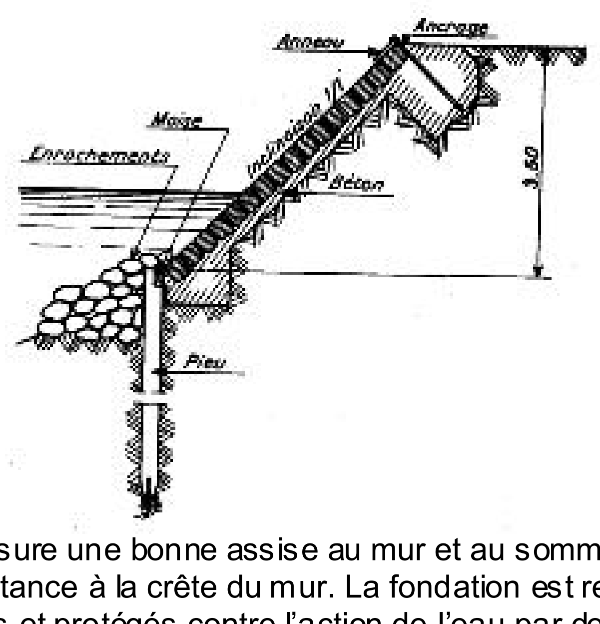
I. 3. E. LES MURS DE QUAI

a) Généralités

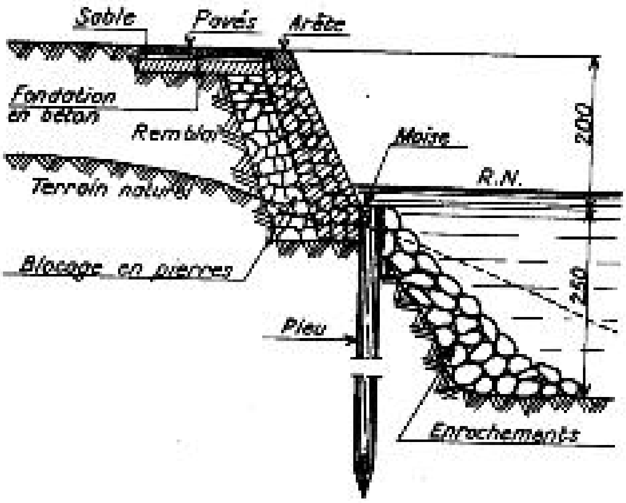
- Les murs de quai sont des mûrs de soutènement très particulier construits en bordure des rivières ou des mers, avec une double utilité :
  - tenir les terres,
  - faciliter l'accostage des bateaux ainsi que leur chargement,
- Après leur emplacement, les quais peuvent être :
  - fluviaux
  - maritimes
- Les murs de quai s'étudient comme les murs de soutènement, mais ici le mur doit être stable sous l'action des terres et sous l'action des eaux, que celles-ci se produisent isolément ou simultanément.

b) Les murs de quai fluvial

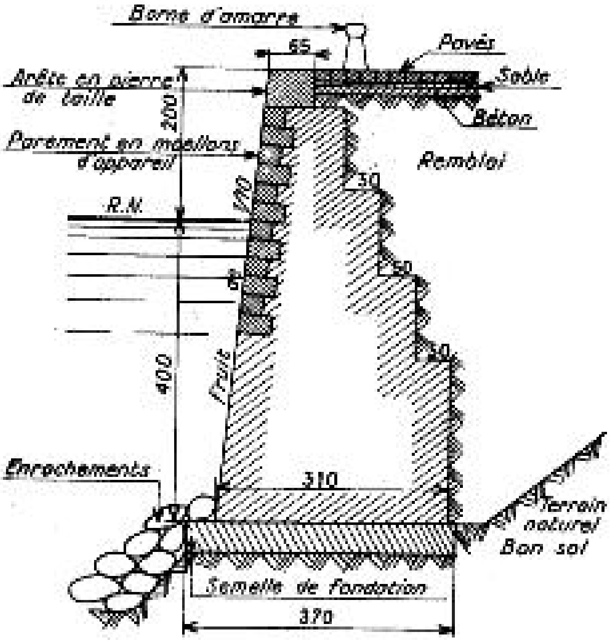
- La figure ci dessous représente un mur incliné à 1/1 constitué par une couche de moellons maçonnés posés sur une fondation de béton qui est renforcée à la base et au sommet :



- A la base elle assure une bonne assise au mur et au sommet elle donne une grande résistance à la crête du mur. La fondation est renforcée par des pieux moisés et protégés contre l'action de l'eau par de l'enrochement :

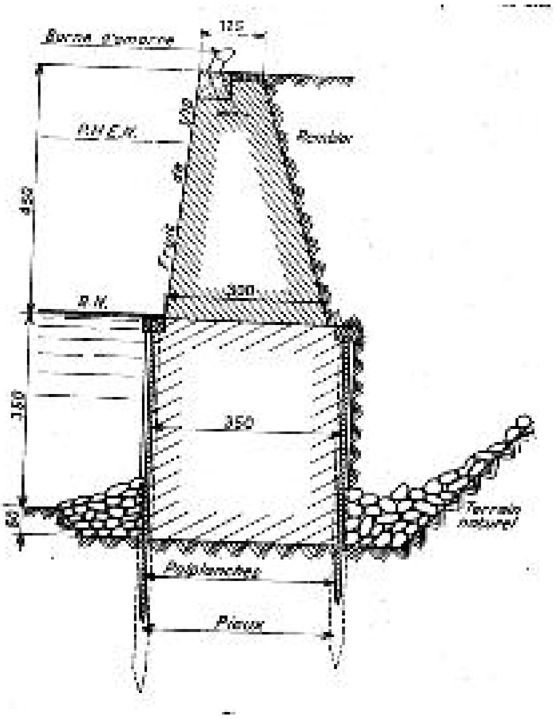


❖ La figure ci dessous représente un mur incliné à ½ ; il est constitué par un mûr trapézoïdal en moellons, renforcé par un blocage de pierres sèches. La fondation du mur est renforcée par des pieux moisés et elle est protégée par des enrochements. Le sommet du mur comporte un élément de pierre taillée ou de béton qui assure à la crête du mur une parfaite rectitude et lui donne une grande résistance :

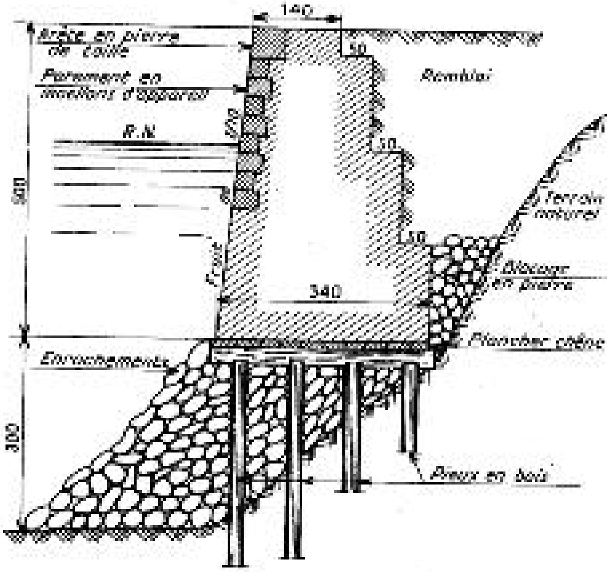


Ce mur est de 6.00 m hauteur, fondé sur un bon sol. Il a une forme trapézoïdale à redans, comportant une arête supérieure en pierre de taille et un parement extérieur en moellons d'appareil. Il est prévu aussi avec une semelle en béton protégée par des enrochements.

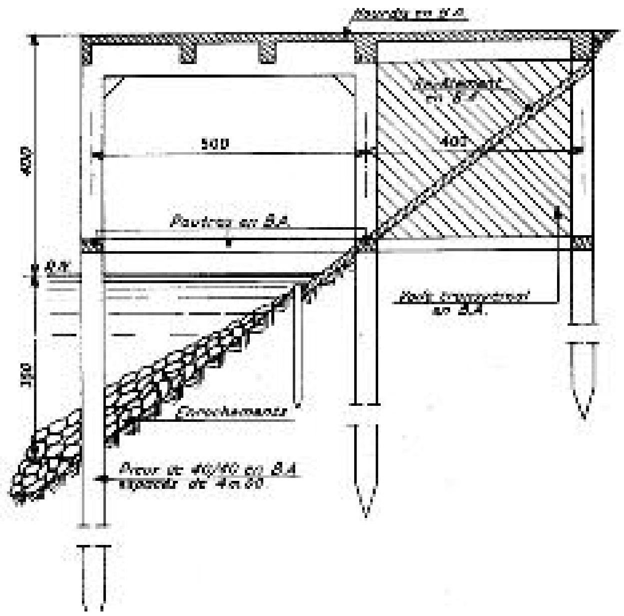
❖ La figure suivante représente un mur de 8.00 m hauteur, fondé sur un sol de qualité médiocre. Le mur présente la particularité que sa partie inférieure, de section rectangulaire, bien que située au-dessous de la retenue normale, a été réalisée à l'air libre, à l'intérieur d'un batardeau de palplanches.



❖ La figure suivante représente un mur aussi de 8.00 m de hauteur, mais fondé sur un sol de mauvaise qualité. Ici le mur est entièrement supporté par des pieux en bois, et il repose sur ceux-ci par l'intermédiaire d'un plancher de chêne.



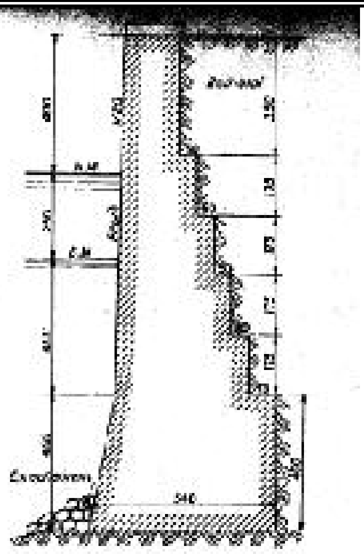
❖ La figure suivante représente un appontement en béton armé, qui n'est pas un véritable mur de quai, mais il s'apparente à celui-ci en ce sens qu'il permet l'accostage des bateaux ainsi que leur chargement :



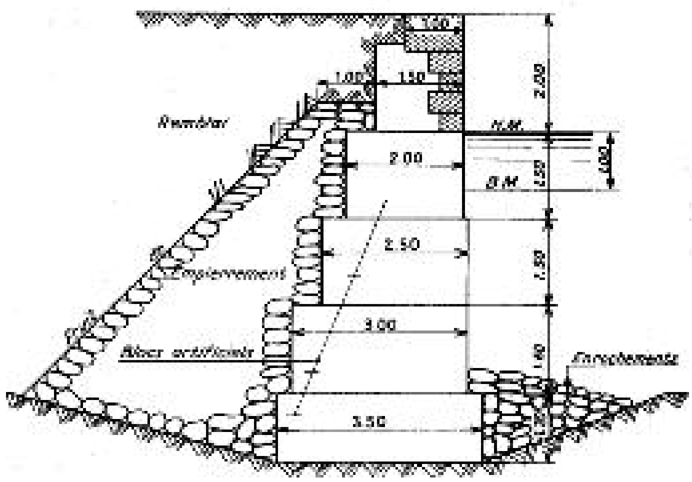
On remarquera que les éléments porteurs sont constitués par des pieux battus dans le sol.

c) Les murs de quai maritime

❖ La figure suivante représente un mur de 14.50 m hauteur, fondé directement sur le sol, avec le parement extérieur à un fruit de 1/20 dans sa partie haute, il est brisé dans sa partie basse en vue d'élargir l'ouvrage :

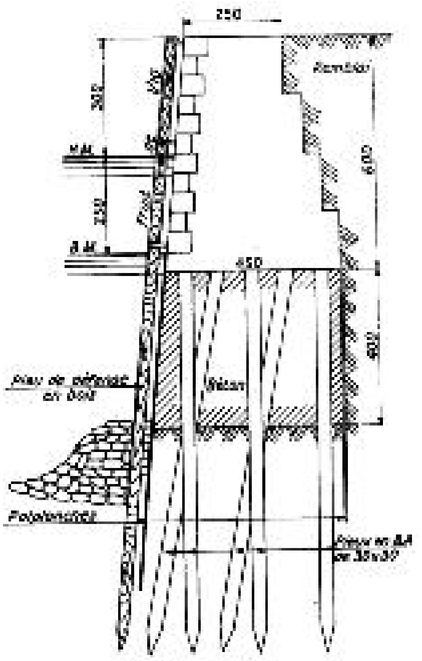


❖ La figure suivante représente un mur qui a comme particularité qu'il est constitué dans toute sa partie immergée, par des blocs artificiels en béton exécutés sur le chantier, à proximité du mûr et puis mise en place à l'aide d'engins de levage très puissants :

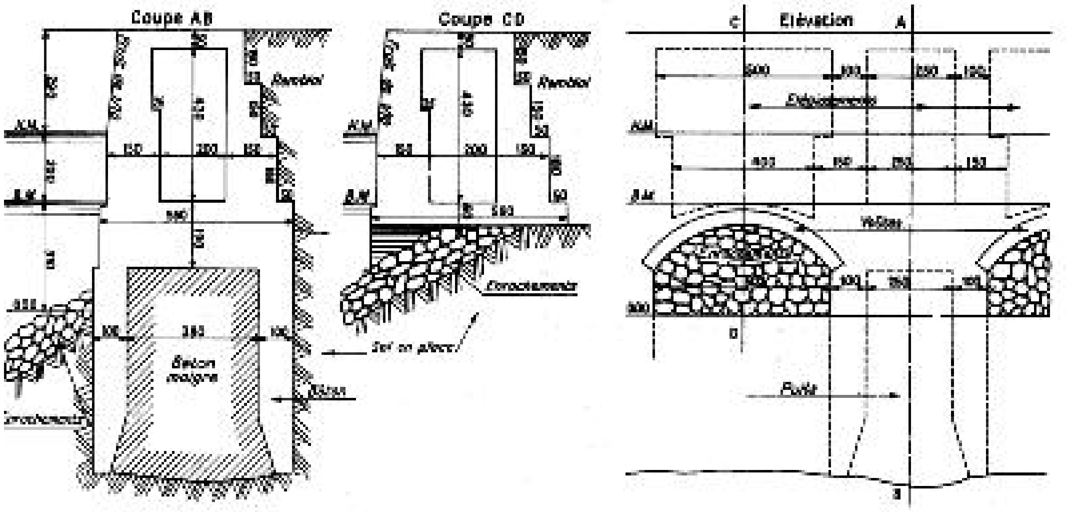


On remarquera qu'à l'arrière, le mur est renforcé par un empierrement très important, disposé avec un fruit de 1/1 et constitué de gros éléments immergés.

❖ La figure suivante représente un mur de 10.00 m de hauteur fondé sur pieu en béton armé. En ce cas la partie inférieure du mur a été exécutée à l'intérieure d'un batardeau réalisé avec des palplanches métalliques qui ont été conservées après le coulage du béton, afin de protéger l'ouvrage contre l'action de l'eau :


250
450
600
400
Béton

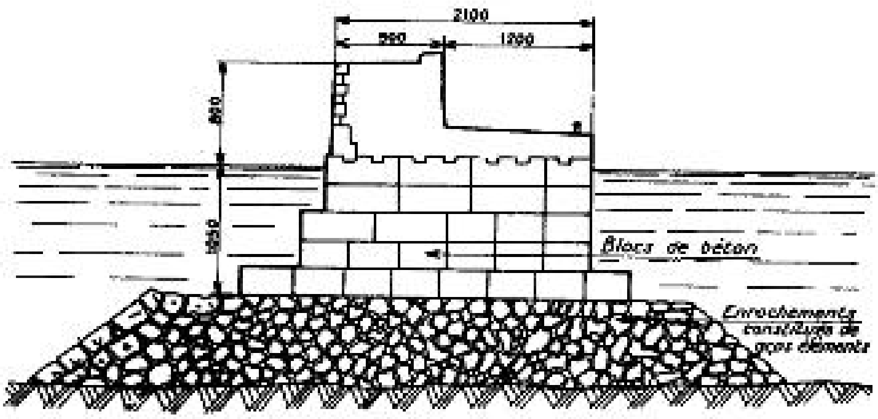
❖ La figure suivante représente un mur d'une dizaine de mètres fondés sur des puits en maçonnerie de béton descendus jusqu'au niveau du bon sol. On remarquera que l'ouvrage a été allégé par des voûtes reliant les puits par des élégissements pratiqués dans le mur. La partie centrale du puits est constituée par du béton maigre, et une masse importante d'enrochements protège l'ouvrage contre l'action de l'eau :



d) Les digues

❖ Les digues sont des ouvrages destinés à protéger les côtes contre l'action destructrice de la mer. Dans certains cas elles permettent de réaliser des ports artificiels. L'extrémité libre de la digue est généralement renforcée et prend le nom de «musoir ».

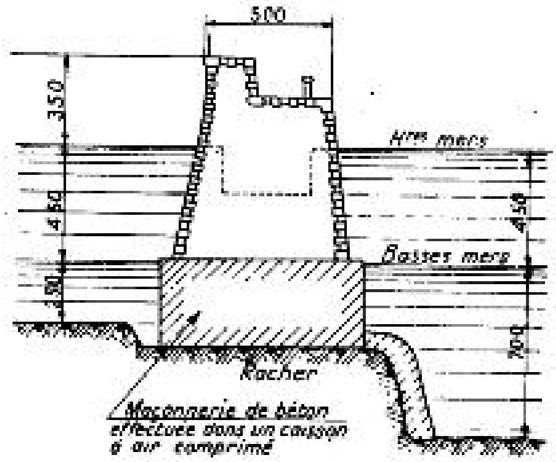
❖ Sur la figure suivante on a donné la vue en coupe d'une digue en sa partie courante et on remarquera la grande largeur de la digue et son dispositif de fondation : gros blocs de béton préfabriqués, maçonnés au mortier de ciment et posés sur une masse importante d'enrochements :



❖ Quand la digue partant du rivetage, limite un chenal de port, elle prend le nom de « jetée » et quand elle est placée à l'entrée d'un port pour briser le

choc des vagues, c'est un « môle ».

❖ La figure suivante présente en coupe, la forme classique d'une jetée de port :



Celle-ci est construite sur le rocher, est fondée sur un massif de béton.

I. 3. F. TOURS ET FONDATIONS SPECIALES

a) Les tours

Après ses destinations, les tours pouvant être :

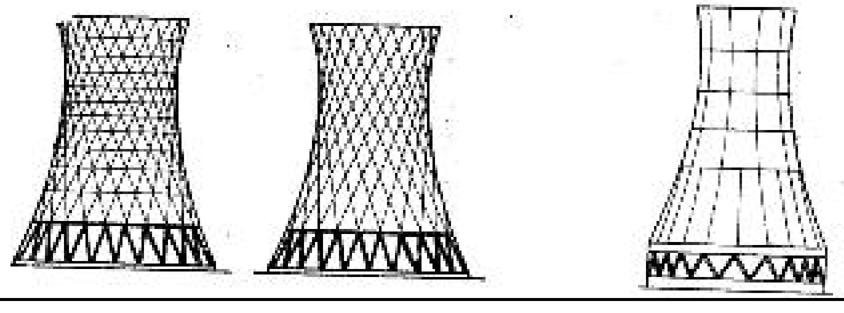
1. Tours de refroidissement,
2. Tours de télécommunication,
3. Tours de l'eau.

1. Tours de refroidissement

❖ Sont des constructions qui assurent le refroidissement en circuit fermé pour l'eau utilisée en processus technologiques, et pouvant être avec tirage naturel ou forcé.

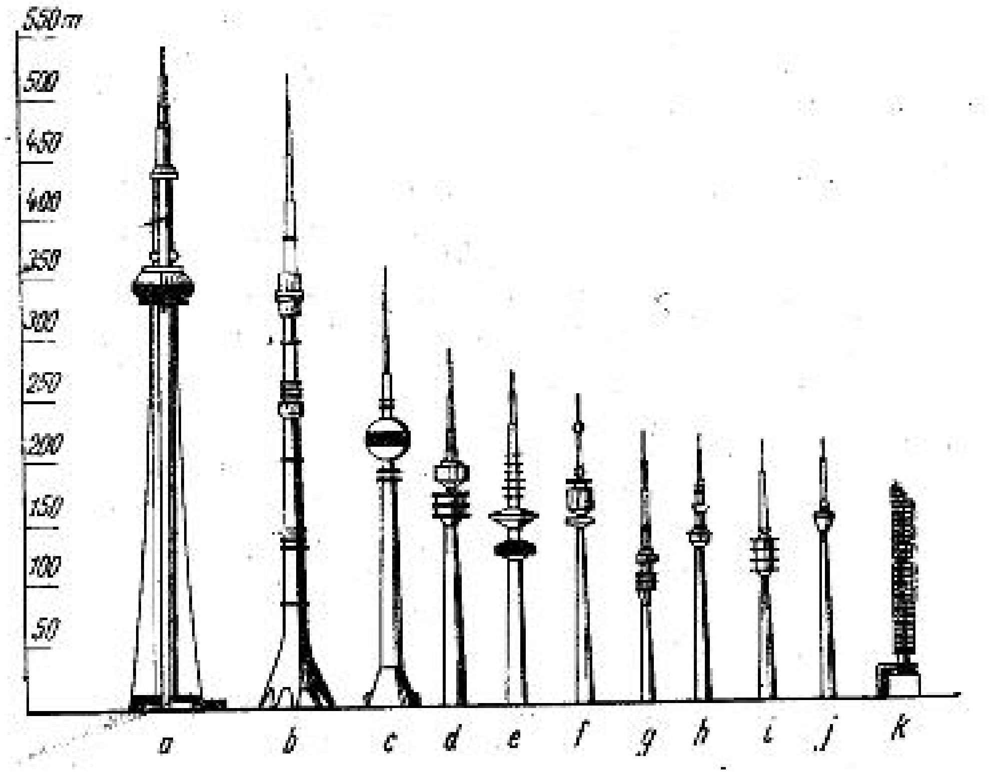
❖ Du point de vue de la méthode d'exécution on peut trouver :
- tours réalisés en éléments préfabriqués du béton armé,
- tours réalisés en coulage du béton en coffrages glissantes,

❖ La forme d'un tel tour est figurée dans l'image suivant :



2. <u>Tours de télécommunication</u>

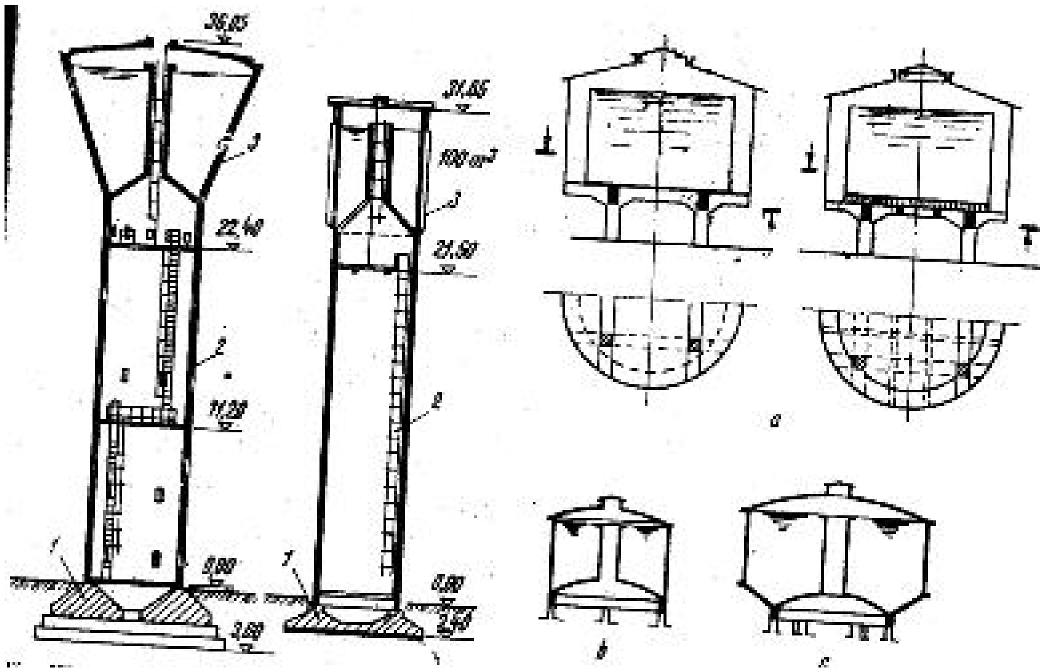
- Sont utilisés pour la transmission, la réception, l'amplification retransmission des ondes ultracourtes de télévision et téléphonie.
- D'habitude cette sort des constructions sont d'une très grandes hauteur, et alors en ce cas, l'action des vents devient la principale règle du dimensionnement de ces ouvrages.
- Les tours les plus célèbres dans le monde sont :
  a. Le tour de Toronto – Canada ;
  b. Le tour de Moscou – Russie ;
  c. Le tour de Berlin – Allemagne ;
  d. Le tour de München – Allemagne ;
  e. Le tour de Hambourg – Allemagne ;
  f. Le tour de Vienna – Autriche ;
  g. Le tour de Dresde – Pologne ;
  h. Le tour de Dortmund – Allemagne ;
  i. Le tour de l'Ouest – Berlin –Allemagne ;
  j. Le tour de Stuttgart – Allemagne ;
  k. Le tour de Londres – Angleterre ;



3. <u>Les tours d'eau</u>

- Sont des constructions composées par des réservoirs en métal ou béton armé, placées en hauteur, et soutenues par des échafaudages en forme de tour.
- Dans la figure suivante sont représentées les principales parties d'une telle

tour :



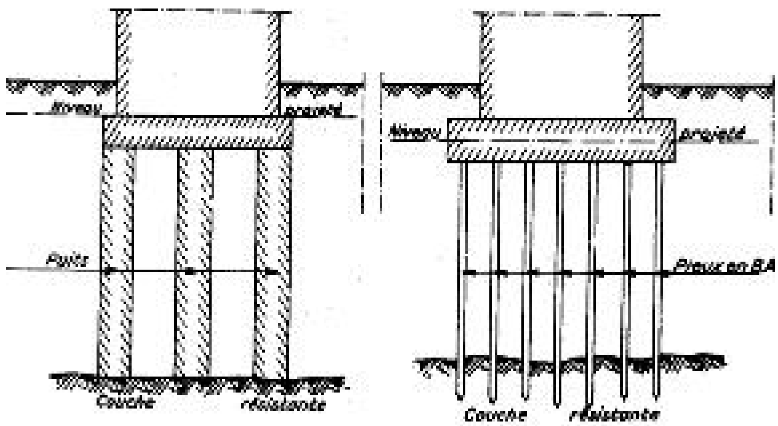
1 – fondation,
2 – tour,
3 – réservoir de l'eau,

Les réservoirs peuvent être :
a – avec radier plane,
b – avec radier coupole,

b) Les fondations pour les ouvrages d'arts

❖ Les caractéristiques d'une fondation dépendent essentiellement de la qualité du sol sur lequel elle repose. Il en résulte que pour déterminer rationnellement la forme et les dimensions de la fondation d'un ouvrage il importe de connaître d'une façon aussi précise que possible le sol qui supportera cet ouvrage.

❖ Quand la couche de fondation est profonde, on prend appui sur la couche résistante du sol soit par des puits forés et puis remplis de béton, soit par des pieux en béton armé battus ou moulés, comme en figure suivant :



❖ Pour exécuter une fondation on peut trouver les procédés suivants :

1. Avec blindages, pour les fondations en terrains secs et de faible profondeur.

2. En palplanches, pour les fondations de grande profondeur – en ce cas lorsque l'enceinte de palplanches est exécutée dans les terres, on peut éviter de faire des étais . Les inconvénients des étais qui empêchent le travail dans l'enceinte, par l'existence des rideaux de palplanches par des tirants métalliques forés dans le sol et ancrés par l'existence des injections de ciment :
   :

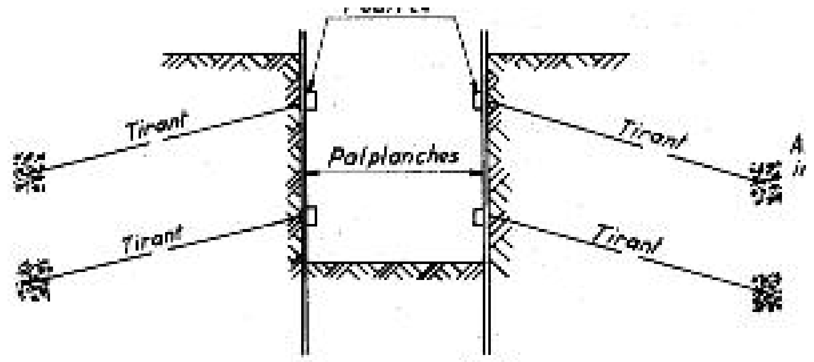
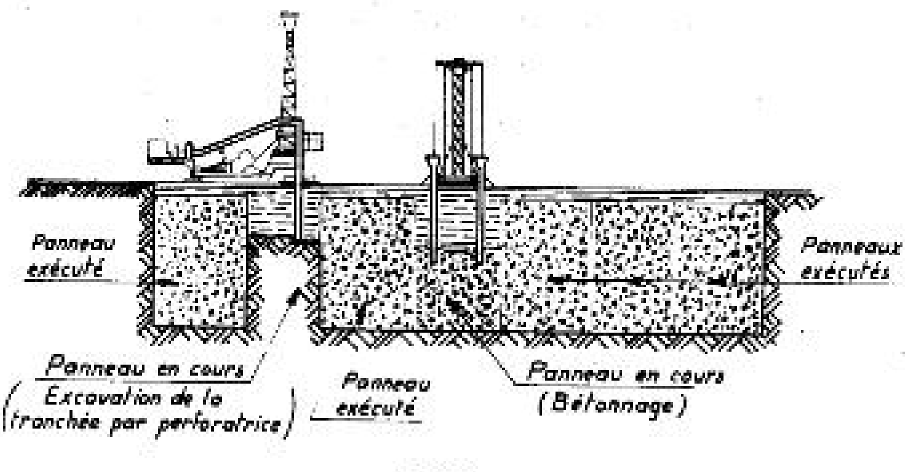


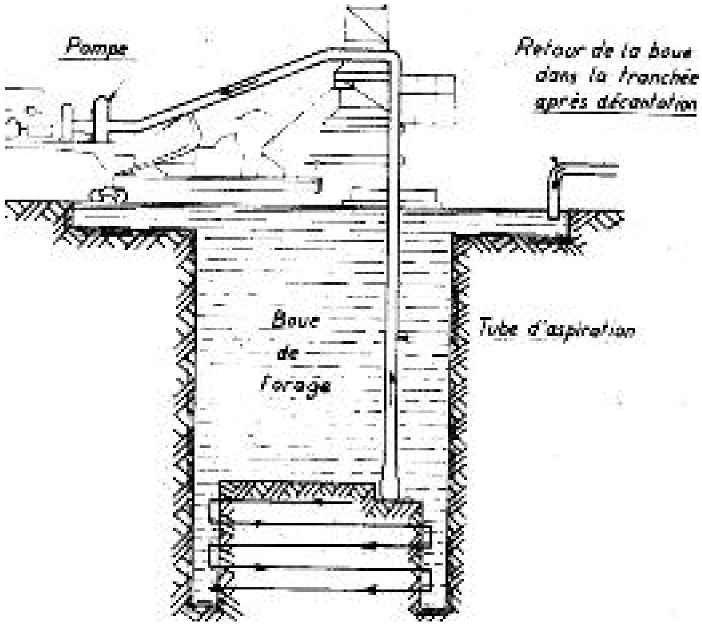
Fig. 16

3. On peut trouver aussi des enceintes jouant le rôle d'effectuer à l'intérieur les terrassements mais assurant en même temps la fondation des ouvrages et en ce cas les parois sont exécutées par «panneaux juxtaposés » de la façon suivante : d'abord les panneaux impairs, puis les panneaux pairs, et un dispositif assurant la liaison des panneaux :

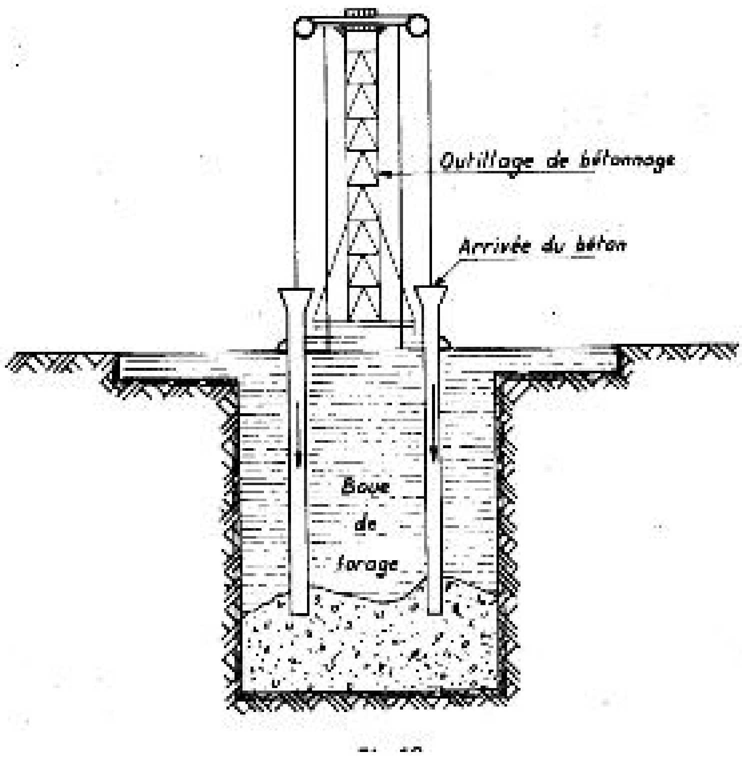


4. Quand la perforation du terrain s'exécute sous un fluide de forage (eau chargée d'argile), qui remplit constamment la tranchée ; grâce à sa densité et au dépôt qu'il fait sur les parois de la tranchée, ce fluide compense la poussée du terrain et il s'oppose aux pertes de circulation en outre il constitue une boue qui assure la remontée des déblais, celle-ci étant assurée par aspiration dans un tube relié à une pompe centrifuge à gros débit, (figure

suivante):



4. Lorsque la tranchée est à la largeur et à la profondeur voulue, elle est bétonnée sous la boue à l'aide de colonnes dont la base va jusqu'au fond de la fouille, permettant de descendre le béton à l'abri de la boue. Celle-ci remonte au fur et à mesure que le béton remplit la fouille et elle est évacuée et récupérée :



II. EVALUATION DE FIN DE MODULE

QUESTIONS	BAREME
1. Comment sont classifiées les bâtiments selon leur destination ?	2/20
2. Comment sont classifiés les bâtiments selon leur structure de résistance ?	2/20
3. Quelles sont les parties d'une super structure d'un bâtiment ?	2/20
4. Quelles sont les couches composantes d'une chaussée ?	2/20
5. Quelles sont les pièces composantes d'un dossier de l'avant projet pour la tracé d'une route ?	2/20
6. Quelles sont les étapes de réalisation d'une route ?	2/20
7. Quels sont les liants hydrocarbonés utilisés pour exécuter la couche de roulement d'une route ?	2/20
8. Enumérer les principaux types d'ouvrages d'arts que vous connaissez ?	2/20
9. Comment sont classifiés les ponts selon la matière de construction ?	2/20
10. Quels sont les types de ponts en béton armé que vous connaissez ?	2/20

III. LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

Auteur	Publication	Edition
René Viltone	Bâtir – Manuel de la construction	Edition 1996
Mario Salvatori	Constructions	Edition 1983
René Allard	Les travaux publics	Edition 1987
Constantin Pestisanu	Constructions	Edition 1980